



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Hannes Kurgpõld

**TERAVILJAKUIVATI ELEVAATORI TÄITURSIIBRI
AJAMI AUTOMATISEERIMINE**

**AN AUTOMATICALLY OPERATED SHUTTER PLATE FOR A
GRAIN DRYER ELEVATOR**

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Marten Madissoo, *Phd*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Hannes Kurgpõld		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Teraviljakuivati elevaatori täitursiibri ajami automatiseerimine			
Lehekülgi: 47	Jooniseid: 22	Tabeleid: 2	Lisasid: 9
Osakond: Põllumundus- ja tootmistehnika			
Uurimisvaldkond: T130 Tootmistehnoloogia			
Juhendaja: Marten Madissoo			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2017			
<p>Teraviljakuivati täitmine etteandekolusse toodava viljaga, kasutades algset täitursiibri juhtmehhanismi, on operaatorile ebaergonoomiline ning ajakulukas. Tulenevalt asjaolust, et kuivateid pakkuvate firmade lahendused ei võimalda paralleelselt kasutada nii automaatset kui manuaalset juhtmehhanismi ning müüdavate lahenduste puhul toimub täitursiibri juhtimine lõpulüliteid kasutades, mitte aga asünkroonmootori tegeliku koormuse alusel, mis kokkuvõttes suurendab tootlikkust, otsustati ehitada vastav seade.</p> <p>Lõputöö eesmärgiks on projekteerida ning valmis ehitada komplektne seade ajami ning seda juhtiva automaatikaga koppelevaatori täitursiibri efektiivsemaks juhtimiseks.</p> <p>Koormuse alusel juhtimise vajalikkuse kinnitamiseks viidi esmalt läbi katsed kahe erineva kultuuriga, tõestamaks, et olenevalt kultuurist on täitursiibri sama avatuse juures elevaatori asünkroonmootorile rakenduv koormus varieeruv. Samuti tuli enne projekteerimist uurida, millist jõudu on vaja rakendada olemasoleva mehhanismi käitamiseks selle tööolukorras – imiteerimaks reaalseid tingimusi, täideti etteandekolu täies ulatuses teraviljaga ning mõõdeti siibri avanemisel tekkiv mass, mille kaudu oli hilisemalt võimalik arvutada nõutav jõud.</p> <p>Tulemuseks õnnestus täitur koos seda juhtiva automaatikaga projekteerida ning teraviljakuivatis reaalse projektina monteerida ja veenduda seadme otstarbekuses nõutava protsessi juhtimisel.</p>			
Märksõnad: lineaartäitur, programmeerimine, pneumaatika, voolumõõtemuundur, asünkroonmootor			

Estonian University of Life Sciences		Abstract of Bachelor's Thesis	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Author: Hannes Kurgpõld		Speciality: Production Engineering	
Title: An Automatically Operated Shutter Plate for a Grain Dryer Elevator			
Pages: 47	Figures: 22	Tables: 2	Appendixes: 9
Department: Agricultural and Production Engineering			
Field of research: T130 Production technology			
Supervisor: Marten Madissoo			
Place and date: Tartu, 2017			
<p>Using the original control mechanism of the shutter plate to fill the grain dryer with grain put into the intake, is time consuming and not ergonomic for the operator. Due to the fact that the solutions offered by the companies selling grain dryers do not enable the usage of both the automatic and manual control mechanisms and for the solutions for sale, the controlling of the shutter plate is conducted by using limit-switches, not by using the actual workload of an electric engine, which, altogether, increases productivity, I decided to build a corresponding device.</p> <p>The aim of this thesis is to design and build a device with an actuator and the automatics that control it, to make the controlling of an elevator's shutter plate more effective.</p> <p>In order to confirm the need for a controlling method based on workload, I conducted tests with two different types of cereal to prove that the force applied to the electric engine of the elevator, while the shutter plate is opened to the same extent, is different with different types of cereal. In addition, I had to find what force had to be applied to control the existing mechanism in a work situation. To imitate a realistic environment, I filled the entire intake with grain and measured the mass that was created when the shutter plate was opened. That enabled to later calculate the necessary force.</p> <p>As a result, I managed to design and assemble the actuator and the automatics that control it in a real grain dryer and ascertain that the device is necessary to control the required process.</p>			
Keywords: linear actuator, programming, pneumatics, current transducer, electric engine			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	6
1. TERAVALJA KUIVATUSMOODUSED	8
1.1. Konvektiivmoodusel kuivatamine.....	8
1.2. Radiatsioonmoodusel kuivatamine	8
1.3. Kõrgsageduskuivatamine	9
2. TERAVALJAKUIVATITE LIIGITUS KONSTRUKTSIOONIST LÄHTUVALT.....	10
2.1. Šahtkuivatid.....	10
2.2. Trummelkuivatid.....	11
2.3. Punkerkuivatid	13
2.4. Kastkuivatid	14
3. TERAVALJAKUIVATI ÜLEVAADE	16
3.1. Teraviljakuivati kirjeldus	16
3.2. Täitursiibri esialgne juhtmehhanism	17
4. TERAVALJAKUIVATI KOPPELEVAATORI AUTOMATISEERITUD TÄITURSIIBRI PROJEKTEERIMINE.....	21
4.1. Nõutava tõstejõu arvutamine.....	21
4.2. Täitursiibri võimalik juhtimine pneumaatiliselt	22
4.2.1. Pneumosilindri montaaž olemasolevale süsteemile	23
4.2.2. Pneumosilindri parameetrite arvutamine.....	23
4.2.3. Suruõhu ettevalmistusseadmed ning juhtahelad.....	26
4.3. Täitursiibri juhtimine lineaartäituriiga	30
4.3.1. Lineaartäituri montaaž olemasolevale süsteemile	31
4.3.2. Lineaartäituri valik	34
4.3.3. Automaatjuhtimist võimaldavad seadmed	37
4.3.4. Projekteeritava seadme maksumus.....	40
KOKKUVÕTE.....	42
KASUTATUD KIRJANDUS	44
SUMMARY	46
LISAD	48
Lisa A. Tehnilised joonised.....	49
Lisa B. Laagriistu skemaatiline kujutamine	58
Lisa C. Seadmete ühendusskeem	59
Lisa D. Programm loogikakontrollerile Logo 12/24 RC Soft Comfort keskkonnas	60

Lisa E. Lisarelee kuivati elektriskeemis šahti täitumisel tekkiva signaali juhtimiseks loogikakontrolleri sisendisse	61
Lisa F. Baltic Agro Machinery OÜ hinnapakumine	62
Lisa G. Projekteeritud seade koppelevaatorile monteerituna	63
Lisa H. Projekteeritud seadme komponentide ja materjalide maksumus	64
Lisa I. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	65

SISSEJUHATUS

Samuti nagu paljudes muudes valdkondades, nii on ka põllumajanduses aktuaalne erinevate tootmisprotsessi operatsioonide juhtimise lihtsustamine seadmete automatiseerimisega. Eelmainitu on laialt levinud traktorite/kombainide ning nende haakeriistade puhul, samuti ka teraviljakäitlusseadmetes. Teraviljakuivatite automatiseerimine on viidud tasemele, kus operaatori pidev kohalolek ei ole vajalik – protsesse on võimalik juhtida distantsilt.

Lõputöö teemaks valiti teraviljakuivati elevaatori täitursiibri ajami automatiseerimine, kuna kodutalus oleva šahtkuivati täitmine vastuvõtukolusse toodava viljaga on antud varustustasemega koppelevaatori A90 kasutamisega ajakulukas. Olemasoleva lahenduse puhul on operaatoril palju üles-alla käimist, seega otsustati täitursiibri automatiseerimisega protsessi ergonoomilisemaks muuta.

Töö eesmärgiks on muuta projekteeritava automaatjuhtimist võimaldava seadmega teraviljakuivati täitmisprotsess operaatorile ergonoomilisemaks ning teisalt kokkuvõttes suurendada koppelevaatori tootlikkust asünkroonmootorile sobiva koormuse rakendamise kaudu. Koormuse sõltuvus olenevalt kultuurist ning selle omadustest on ühtlasi ka töö hüpoteesiks. Eesmärgi saavutamiseks seati järgnevad ülesanded:

1. Koppelevaatori katsetamine teraviljaga, tõestamaks täitursiibri juhtimise vajadust koormuse, mitte fikseeritud asendiandurite kaudu.
2. Tutvuda teraviljakuivateid müüvate firmade täitursiibri automatiseerimiseks pakutavate lahendustega.
3. Valida täitursiibri juhtimiseks sobivaimad seadmed.
4. Koostada tööjoonised.
5. Monteerida projekteeritud seade.
6. Kirjutada loogikakontrollerile programm.
7. Katsetada nii programmi kui ka seadet tervikuna.

Töö esimeses osas antakse üldine ülevaade erinevatest kuivatusmoodustest. Teises osas kirjeldatakse kuivateid konstruktsiooni alusel. Alates kolmandast osast käsitleb töö kodutalus olevat teraviljakuivatit. Esmalt kirjeldatakse kuivatit üldiselt, seejärel koppelevaatori täituri-

siibri esialgset juhtseadet. Neljandas osas on esitatud kahe erineva täituri kasutamine täitur-siibri juhtimiseks, arvutused valitud seadmete sobilikkusest ning samuti on kirjeldatud auto-maatjuhtimist võimaldavaid seadmeid.

1. TERAVIDJA KUIVATUSMOODUSED

1.1. Konvektiivmoodusel kuivatamine

Konvektiivkuivatuse korral soojendatakse teravilja läbi selle liikuva kuivatusagensiga, milleks võib kasutada kas soojendatud või soojendamata õhku [1]. Kuivatamist soojendamata ehk välisõhuga nimetatakse külmõhkuivatuseks [2]. Konvektiivmoodusel kuivab teravili siis kui kuivatamiseks kasutatavas õhus sisalduva veeauru osarõhk on väiksem kui terades. Veeauru osarõhu tõttu toimub viljaterades vee liikumine selle pinnale, kust see aurustub. Aurustumine toimub senikaua kuni veeauru osarõhk terades ja kuivatusagensis võrdsustub [1]. Tänapäeval teravilja kuivatamine leiab eelkõige aset konvektiivmoodusel töötavates kuivatites, mis konstruktsioonist lähtuvalt jaotatakse mitmesse kategooriasse (täpsemalt käsitletud punktis 2).

1.2. Radiatsioonmoodusel kuivatamine

Radiatsioonmeetodil kuivatamine jaguneb kaheks: kuivatamine päikesekiirtega ning kuivatamine infrapunakiirtega. Esimese puhul on tegemist väga primitiivse lahendusega, kus teravili või ka heinaseeme laotatakse tasasele platsile. Kuivamine toimub seda intensiivsemalt, mida kõrgem on õhutemperatuur, tugevam tuul ning õhukesem kuivatatav kiht. Kuivatamise ühtlustamiseks tuleb teravilja perioodiliselt segada [3]. Nimetatud meetod leiab kasutust väga minimaalselt, kuna tootlikkus on väike ning puudub automatiseeritavus. Tänapäeval kasutavad taolist meetodit väiketalunikud väikeste seemnepartiide esmaseks koristusjärgseks niiskuse vähendamiseks.

Kiirgusmoodusel ehk infrapunakiirtega kuivatamisel soojendatakse vilja spetsiaalsete elektrilampide või keraamiliste küttekehadega. Kiirgava pinna temperatuur on küllaltki kõrge, jäädes 700-900 °C juurde. Infrapunakiired läbivad 10-15 mm paksust viljakihti, kuid vilja-

kihi pealmine kord saavutab lubatud kuivatustemperatuuri vaid 1-2 minutiga. Vaatamata asjaolule, et infrapunakiirte lampgeneraatorid on töökindlad, pole need põllumajanduses laialdast kasutust leidnud eelkõige madala kasuteguri tõttu – vajavad palju elektrienergiat [3].

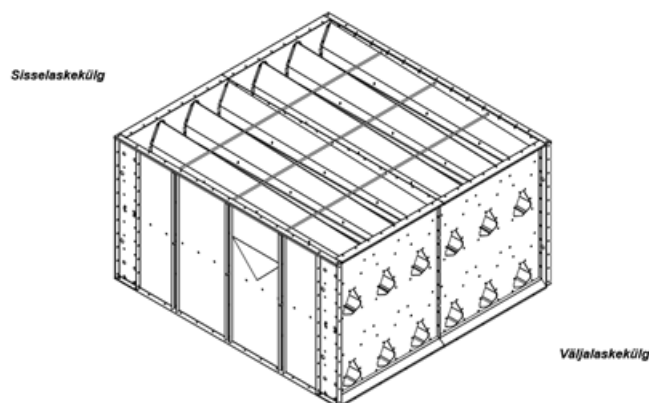
1.3. Kõrgsageduskuivatamine

Kõrgsageduskuivatamisel toimub viljaterade soojenemine ettenähtud kuivatustemperatuurini väga kiirelt (vaid mõne sekundiga) ning seejuures ka ühtlaselt – see tähendab temperatuur tera sees on ligilähedane temperatuuriga selle välispinnal [3]. Tulenevalt eelmainitust on kuivamiskiirus suurem kui konvektiivmeetodi puhul, kuid energiatarve on ligi kaks korda suurem.

2. TERAVALJAKUIVATITE LIIGITUS KONSTRUKTSIOONIST LÄHTUVALT

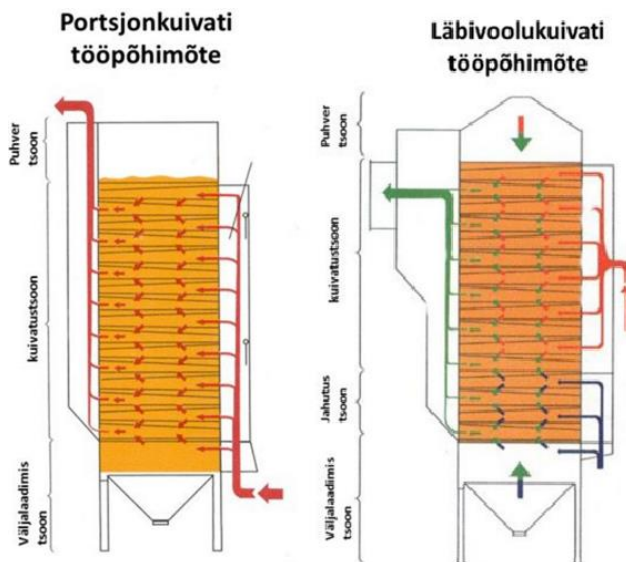
2.1. Šahtkuivatid

Šahtkuivatite näol on tegemist ühe levinuima teraviljakuivati tüübiga. Šahtkuivati kuivatuskambri moodustavad ristkülikukujulise ristlõikega moodulid, kus asetsevad ühtlase vahekaugusega alt lahtised ning vaid ühest otsast avatud kanalid (joonis 2.1). Üldiselt on õhukanalid kiilukujulised, kus sisselaskekanalite puhul on nende ristlõige suurem kuivatusõhu sissevoolu juures ning väljalaskekanalitel vastupidi – see tagab ühtlase soojendatud õhu kulgemise läbi perioodiliselt alla liikuva viljamassi [4].



Joonis 2.1. Teraviljakuivati Antti WM06 monteeritud 2W kuivatussektatsioon [5]

Šahtkuivatid jaotatakse tööprotsessist lähtuvalt kas pidevatoimelisteks ehk nõ. läbivoolukuivatiteks või tsüklilise kuivatusprotsessiga kuivatiteks ehk portsjonkuivatiteks (joonis 2.2). Läbivoolukuivatite puhul asub kuivatuskambri all sarnase ehitusega jahutuskamber, kus vilja, erinevalt kuivatuskambris kasutatavale soojendatud õhule, jahutatakse sellest välisõhku läbi juhtides.



Joonis 2.2. Portsjon- ning läbivoolukuivatite tööpõhimõtteskeemid [6]

Vastupidiselt eelmainitule, portsjonkuivatitel eraldi jahutuskamber puudub. Jahutamine välisõhuga toimub pärast kuivatusprotsessi samas kambris.

Šahtkuivateid võib lisaks liigitada ka statsionaarseteks ning mobiilseteks. Enamikul kuivateid tootvatel firmadel on tootevalikus mõlemad variandid, rahuldamaks kliendi soove lähitavaltootmisüksuses valitsevast vajadusest. Juhul kui teatakse, et soovitakse kuivatit krun-dil teisaldada või kui ei soovita statsionaarset ehitist rajada, on mõistlik soetada mobiilne kuivati, mis ei vaja statsionaarse ehitusega sarnaselt ka ehitusluba. Hilisemalt on võimalik mobiilne kuivati muuta statsionaarseks, lisades see statsionaarse ehitise kompleksi.

2.2. Trummelkuivatid

Trummelkuivatite kuivatuskambri moodustab aeglaselt pöörlev silindriline trummel, millest juhitakse kuivatamiseks läbi soojendatud õhk [3]. Teravilja segamine kuivatamise ajal toimub trumli olevate labadega. Tootlikkust on võimalik suurendada trumli kalde ning läbimõõdu suurendamisega, kuivatatava õhu liikumiskiiruse suurendamise ning õhu temperatuuri tõstmisega. Tihtipeale töötavad trummelkuivatid kuivatusagensi imemisega läbi trumli oleva teravilja – sellega hoitakse ära kuivatusprotsessi käigus tekkiva tolmu liikumine

teraviljakuivati hoonesse. Trummelkuivatite positiivseks omaduseks on tänu teravilja heale segamisele ning intensiivsele puhumisele võimalus kuivatada suure lisanditesisalduse ning niiskusega teravilja. Vastupidiseks argumendiks on nende kuivatite suur ruuminõudlus. Kuivatamisel on vaid 20...25% kuivatustrumli mahust täidetud teraviljaga, seetõttu konstrueeritakse suure tootlikkusega trummelkuivatid võimalikult suure trumli läbimõõduga. Tulenevalt kuivatustrumli täidetavusest ei ole vaatamata kõrgele kuivatustemperatuurile (150...200 °C) kuivatustrumli 1 m³ kohta ühes tunnis eemaldatava niiskuse hulk üle 30...40 kg [3].

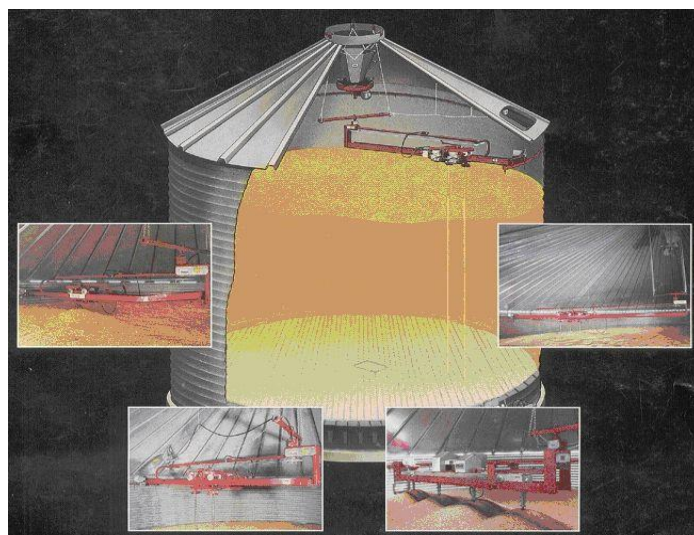


Joonis 2.3. Trummelkuivati Cimbia Dantoaster [7]

Trummelkuivatid ei ole tänapäeval teravilja kuivatusprotsessis laialdaselt levinud, üks vähestest tootjatest nende alal on Taani firma Cimbia, kelle paljude materjalide (sojauba, mais, raps, müsli, leivapuru, sorgo, lubjakivi, loomasööt, hakkepuu) kuivatamist võimaldav trummelkuivati on kujutatud joonisel (joonis 2.3).

2.3. Punkerkuivatid

Punkerkuivati on oma põhimõttelt ventileerpunker, kus vilja kuivatatakse kuni temperatuurini 70 °C soojendatud õhuga [1]. Punkerkuivatite eelisteks on suur tootlikkus, võimalus seda kasutada nii kuivati kui ka teraviljahoidlana, tema täielik mehhaniseeritavus ning kuivatuskambri suur maht [3]. Vanematel punkerkuivatitel puudus võimalus vilja segamiseks, seetõttu tuli seda vilja ühtlasema kuivamise huvides aeg-ajalt ümber teisaldada. Tänapäevastel punkerkuivatitel, olenevalt varustustasemest, on spetsiaalsed mehhanismid vilja segamiseks; näiteks firma Tatoli pakutav punkerkuivati on varustatud vertikaalselt asetsevate segamistigudega (joonis 2.4).



Joonis 2.4. Tatoli AS pakutav vertikaalsete segamistigudega punkerkuivati [6]

Tihti peale kasutatakse punkerkuivateid kül mõhkkuivatite põhimõttel, kus kuivatustemperatuur on võrdne ümbritseva keskkonna temperatuuriga; küttekolle puudub, kasutatakse vaid ventilaatoreid. Taoline lahendus on otstarbekas näiteks portsjonkuivati puhul, kus kohe pärast kuivatamisprotsessi suunatakse selles olev materjal ventileeritavasse punkrisse, kus see jahutatakse – sedasi hoitakse koristusperioodil väärtuslikku aega kokku. Samuti kui pole kohe võimalik koristatud teravili suunata kuivatamisele, võimaldab ventileeritav punker niisket teravilja jahutada, vältides selle soojenemist ning seeläbi toidu- või söödaväärtuse kahjustumist. Koristatud teravilja niiskus on enamasti 18...30% piires, milles esineb põhi-

kultuurile lisaks aganate ja umbrohuseemnete näol 1...5% lisandeid [8]. Nimetatud niiskusega vili hakkab kiiresti isekuumenema, mida kutsutakse esile niiske teravilja intensiivne hingamine ning mikroorganismide paljunemine. Hingamise käigus neelavad viljaterad õhust hapnikku ning eraldavad süsihappegaasi ning veeauru. Selle käigus lagunevad suhkrud ning vabaneb soojus. Mikroorganismide paljunemine ning teravilja hingamine on seda intensiivsemad, mida niiskema ja kõrgema temperatuuriga on teravili koristatud. Teravilja isekuumenemise tagajärjel väheneb selle kaal ning samuti alaneb ka kvaliteet. Seemnevilja puhul on isekuumenemisest tingitud kahju suurem, idanemisenergia ning idanevus hakkavad langema juba protsessi algstaadiumis. Isekuumenenud tarbevili ning sellest valmistatud jahu on toksiline, millest ei ole võimalik vabaneda ka kuivatamisega.

2.4. Kastkuivatid

Soeõhk-kastkuivati põhiseadmed on kuivatiahi koos tsentrifugaalventilaatoriga ning kuivatuskast [1]. Kuivatuskasti põhi on valmistatud perforeeritud plekist, mille valikul tuleks arvestada kuivatatavast kultuurist ning vastavalt sellele valida sobivate avadega plekk. Kastkuivati näol on tegemist liikumatu viljakihiga kuivatiga, seetõttu on kuivatatava viljakihi paksus piiratud ning ühtlasemaks ning kiiremaks kuivatamiseks tuleb kuivatatavat teravilja aeg-ajalt liigutada.

Problemaatiline on samuti ka kastkuivati tühjendamine; sageli toimub see käsitsi, lükates kuivatatud materjali kastkuivati ees olevasse kolusse, millest omakorda kas tigukonveier või koppelevaator selle soovitud paika transpordib. Füüsilist tööd on võimalik kokku hoida, kasutades teravilja imur-puhurit (joonis 2.5).



Joonis 2.5. Soome ettevõtte Nordmills OY teravilja pneumotransportöör [9]

Antud seadmed on saadaval erinevate tootlikkuste ning võimsustega, samuti ka mitmete energiaallikatega – võimalik on seadet käidelda nii traktori käitlusvõlli kasutades kui ka elektrimootori vahendusel.

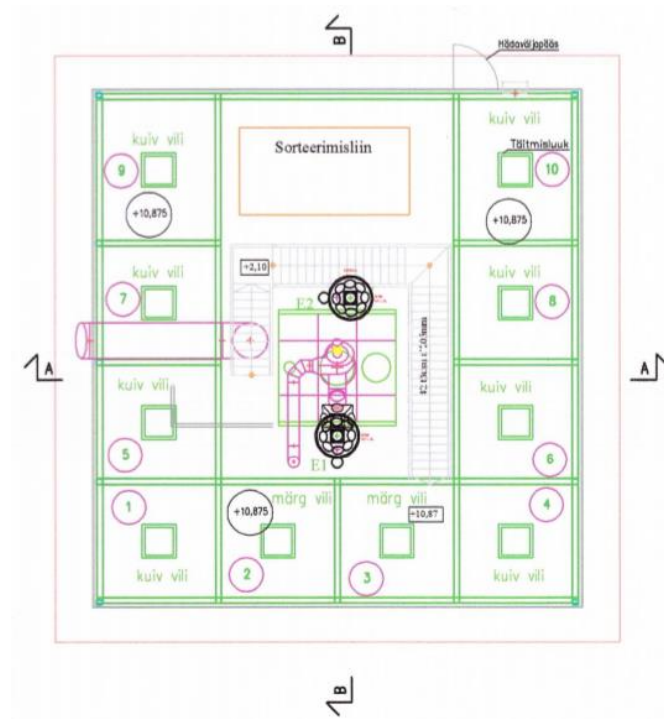
Tänapäeval kasutatakse kastkuivateid küllaltki minimaalselt, põhiliselt väiketaludes, samuti ka heinaseemnete tootmisega tegelevates ettevõtetes. Heinaseemne kuivatamisel varustatakse tihtipeale kuivatuskast suure kangaga, mis väldib peenikeste seemnete kukkumist kuivatuskasti all olevasse kuivatusõhu kambrisse.

3. TERAVALJAKUIVATI ÜLEVAADE

3.1. Teraviljakuivati kirjeldus

Kodutalus on ehitusjärgus Antti pakettkuivati. Pakettkuivati puhul moodustavad kuivati-hoone seinad elementidest koostatud punkrid. Punkrite arv, nende paigutus ning kõrgus ei ole kindlalt määratud; tellija otsustab, millise mahutavuse ning suurusega hoonet vajatakse.

Nimetatud teraviljakuivatis on kokku 8 täiskõrguses punkrit, mis asuvad hoone külgedel, sisselaadimiskolu kohal on kaks väiksemat ventileerimisvõimalusega salve, mis on eelkõige mõeldud märja teravilja esmaseks hoiustamiseks (joonis 3.1). Kuivati tagaküljel on paralleelselt esiküljel olevate väiksemate punkritega läbi kahe korruse ulatuv sorteerimisliin. Sorteerimisliini kohal ning samuti ka all on ühtede elementide kõrgused punkrid sorteerimisele minevate ning sealt tulevate kultuuride hoiustamiseks.



Joonis 3.1. Teraviljakuivati punkrite asendiplaan [10]

Kuivatusseadmena on kasutusel Antti portsjonkuivati Mixflo 23MF2, mille energiaallikaks Antti 300 kW vedelküttekatel. Teravilja transportimiseks kasutatakse kahte koppelevaatorit. Tagumise elevaatoriga (joonis 3.1 – E2) toimub tagumiste punkrite laadimine ning tühjendamine, esimene koppelevaator (joonis 3.1 – E1) töötab šahtkuivatit ning eespool paiknevate punkrite teenindava seadmena. Šahti väljalaadimisosas on varustatud kahesuunalise jagajaga – vastavalt vajadusele on võimalik tühjendamiseks kasutada mõlemat koppelevaatorit, võimaldamaks kõigi punkrite täitmist. Projekteeritava lahendusega on plaanis automatiseerida esimene koppelevaator, eelkõige kuivati vastuvõttu toodava vilja pealevoolu reguleerimiseks.

3.2. Täitursiibri esialgne juhtmehhanism

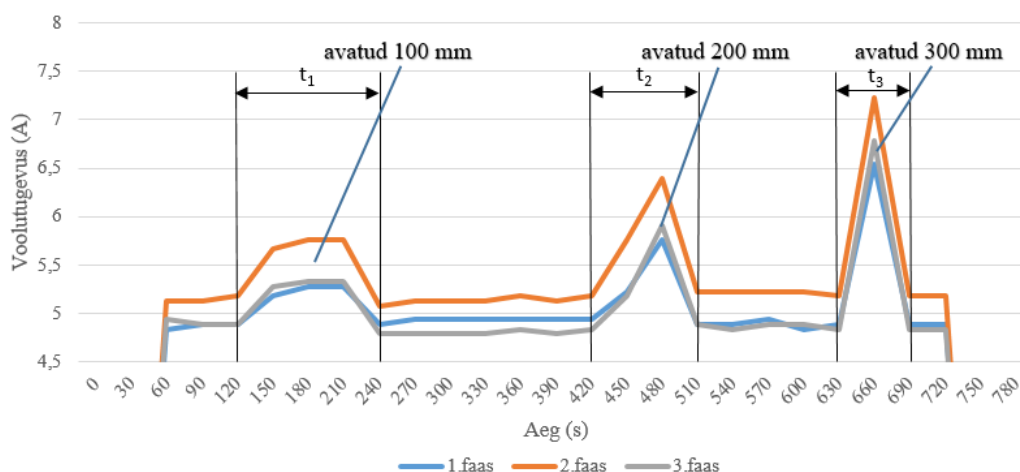
Tehasevalmiduses oli koppelevaatori A90 täitursiiber varustatud manuaalse ajamiga (joonis 3.2). Tegemist on siinisüsteemiga, kus fikseeritud kõrgusel paikneval völli asub hammasratas, mis völli külge kinnitatud hoova pööramisel liigutab ketiga varustatud karprauas paiknevat juhikut, mis omakorda on ühenduses elevaatori suudme ette kinnitatud siibriga. Siibri maksimaalne käigupikkus on 400 mm.



Joonis 3.2. Koppelevaatori A90 esialgne täitursiibri juhtimismehhanism

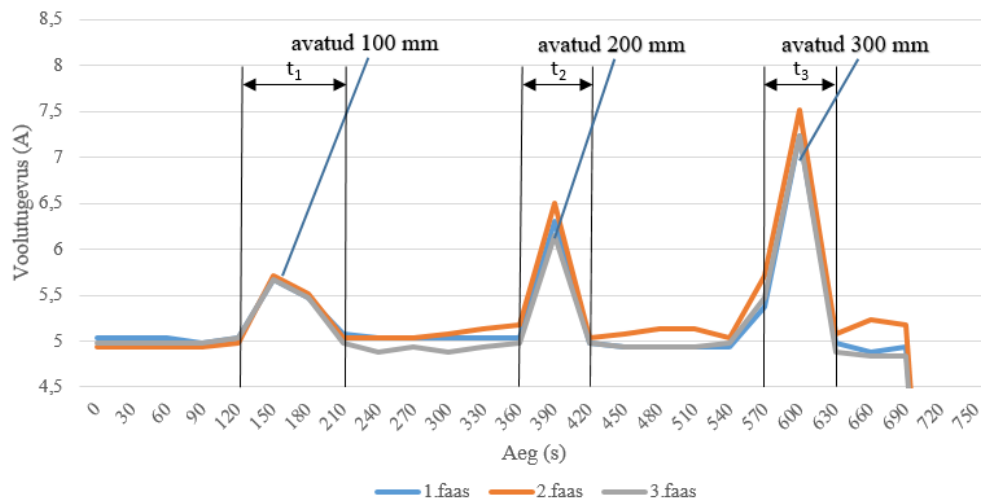
Olemasolev manuaalne siibri juhtimine on küllaltki ebamugav, kuna kogu kuivati seadmeid käitav elektroonika asub kuivati sisemuses paiknevas elektrikilbis ning teravilja vastuvõtt toimub ligikaudu kolm meetrit põrandapinnast kõrgemal estakaadi tasapinnal. Šahtkuivati nivooanduri süttides tuleb operaatoril ronida täitursiibri juurde (joonis 3.2) ning see sulgeda, seejärel taaskord juhtkilbi juurde, käitamaks kuivatusprotsess.

Täitursiibrit soovitakse edaspidi juhtima hakata vahetult operaatori soovi alusel, kasutades lülitit, ning automaatselt – sel juhul toimub täituri opereerimine loogikakontrolleri vahendusel. Oluline on hakata protsessi juhtima elevaatori asünkroonmootori koormuse alusel kuna olenevalt koristatud kultuurist, selle niiskusest ning erimassist on voolamine läbi fikseeritud siibri avatuse erinev; selle kajastamiseks viidi läbi katsed, mida illustreerivad joonised (joonis 3.3 ning joonis 3.4).



Joonis 3.3. Elevaatori asünkroonmootori koormamine rapsiga

Katsed viidi läbi täitursiibri kolme erineva avatuse juures, nendeks oli 100 mm, 200 mm ning 300 mm. Iga kord täideti etteandekolu kogusega 500 kg. Katseseadmena kasutati HOB0 ampertangidega varustatud andmeloendurit.



Joonis 3.4. Elevaatori asünkroonmootori koormamine nisuga

Joonistelt on näha, et olenevalt kultuurist on sama siibri avatuse juures elevaatori asünkroonmootori koormus erinev. Tulenevalt mainitud asjaolust on suurema tootlikkuse ning koppelevaatori ühtlasema töö tagamiseks oluline täitursiibrit hakata juhtima koormuse, mitte ühte töötasapinda fikseeritud nivooanduritega.

Täitursiibri automaatjuhtimise seadistamiseks on oluline teada koppelevaatori asünkroonmootori optimaalset koormatust. Mootori töötamisel suure võimsusvaruga on elevaatori töö ebaratsionaalne ja ebamajanduslik. Teisalt asünkroonmootori ülekoormamisel, mähiste ülekuumenemisel, väheneb seadme eluiga. Arvutuse läbiviimiseks fikseeriti mootori korpuselt olulisemad väärtused.

Asünkroonmootori parameetrid:

- nimivõimsus: 5,5 kW;
- nimipinge: 400/690 V Δ/Y ;
- sagedus: 50 Hz;
- võimsustegur: 0,86.

Asünkroonmootor on ühendatud kolmnurkühendusse, liinipinge väärtuseks on 400 V. Järgnevalt arvutatakse aktiivvõimsuse kaudu mootori nimivool [11].

$$P = \sqrt{3} \cdot I_N \cdot U_N \cdot \cos\varphi \cdot \eta \Rightarrow I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{5500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,86 \cdot 0,90} = 10,25, \quad (3.1)$$

kus I_N on asünkroonmootori nimivool A;

P – asünkroonmootori nimivõimsus W;

U_N – liinipinge V;

$\cos\varphi$ – võimsustegur;

η – asünkroonmootori kasutegur [11].

Eelnevalt leitud asünkroonmootori nimivool ei ole lähteväärtuseks täitursiibri maksimaalse avatuse määramiseks kuna mehaaniline võimsus on mootoris tekkivate kadude tõttu aktiivvõimsusest oluliselt väiksem.

Koppelevaatori alumine võll on varustatud anduriga, mis registreerib ajaühiku jooksul võlli täispöörded ning kui tekib võlli pöörlemiskiiruse lubatust suurem mahajäämus, lülitatakse elevaator välja. Koormatuse hindamiseks viidi läbi katsed, mille tulemusena selgus, et optimaalne on asünkroonmootorile rakendada 8 A koormus, nimetatud väärtusest tuleb lähtuda ka loogikaprogrammi kirjutamisel.

4. TERAVIDJAKUIVATI KOPPELEVAATORI AUTOMATISEERITUD TÄITURSIIBRI PROJEKTEERIMINE

4.1. Nõutava tõstejõu arvutamine

Olenemata täitursiibri automatiseerimiseks rakendatavast lahendusest, tuleb esmalt teada saada tööprotsessi toimimiseks vajalikud jõud. Siibri avanemiseks vajaliku jõu moodustavad siibri detailide raskused ning liugepindade vahelised hõõrdejõud, mida suurendab etteandekolusse laaditud kultuuride massi kaudu rakenduv rõhumisjõud. Reaalse olukorra imiteerimiseks täideti etteandekolu täies ulatuses teraviljaga (joonis 4.1).



Joonis 4.1. Etteandekolu täitmine teraviljaga

Mõõtmiseks kasutati rippkaalu, mida oli kinnitusklabri vahendusel siibri siiniga käepärane ühendada. Täitmata kolu korral saadi kolme katse keskmiseks avanemismassiks 34,67 kg ning vastavalt täidetud kolu puhul avanes etteandesiiber 56,67 kg juures. Järgnevalt arvutatakse siibri avanemiseks nõutav minimaalne jõud.

$$F_m = m \cdot g = 56,67 \cdot 9,81 = 555,93, \quad (4.1)$$

kus F_m on siibri avanemiseks vajalik minimaalne jõud N;

m – avanemismass kg;

g – raskuskiirendus m/s^2 [12].

Edaspidistes arvutustes tuleb detailide valikul lähtuda eelnevalt leitud jõust. Komponentide valikul tuleb arvestada varu eelnevalt leitud siibri avanemiseks vajalikule minimaalsele jõule, sest katse viidi läbi kuivatatud teraviljaga, mille niiskuse oli 12,1%, kuid koristusperioodil kuivatise toodav teravili on oluliselt niiskem ning seetõttu suurema massiga, mis läbi suureneb siibrile rakenduv rõhumisjõud ning avanemismass. Varuks arvestatakse pool siibri avanemiseks vajalikust minimaalsest jõust, seega täitursiibri optimaalseks jõuks F_0 on 833,90 N.

4.2. Täitursiibri võimalik juhtimine pneumaatiliselt

Koppelevaatori täitursiibri juhtimisel, kasutades selleks suruõhku, on teatavad positiivsed ning negatiivsed omadused. Sobivateks külgedeks on pneumosilindrite töökiiruse lihtne seadistamine, kasutades selleks drosseleid. Suruõhu kasuks on ka pneumosilindrite tundetus ülekoormusele – tulenevalt silindri parameetritest maksimaalse jõu saabudes kolvi liikumine peatub. Täitursiibri liikumisel ilmnenud tõrke korral on kinnituste säilimise tagamiseks pneumosilindri maksimaalne rakendusjõud tööõhu määramisega probleemideta seadistatav.

Täitursiibri pneumaatilise juhtimise sobimatust kajastab eelkõige kuivatihoone varustamatus suruõhuseadmega. Ainuüksi pneumosilindri käitamiseks tuleks hankida suruõhukompressor kuna ülejäänud seadmed töötavad elektritoitel. Õhu füüsikalistest omadustest põhjustab sobimatust kokkusurutavus, mistõttu täitursiibri soovitud kõrgusele avanemisel fikseeritud asend pneumosilindris oleva õhu kokkusurumisel muutub. Juhtseadmetena kasutatavad jaoturid ning reguleerseadised koos suruõhu ettevalmistusseadmetega muudavad kokkuvõttes pneumaatilise täitursiibri juhtimise küllaltki kulukaks ning ebaratsionaalseks.

4.2.1. Pneumosilindri montaaž olemasolevale süsteemile

Projekteeritav täitur soovitakse lisada olemasolevale mehhanismile võimalusega vajaduse korral käitada etteandesiibrit manuaalselt, eesmärgiga võimaldada teravilja vastuvõtt ka juhul kui tekib rike projekteeritava lahendusega (joonis 4.2). Pneumosilindri puhul on silindrivarre ülesliikumine manuaalselt hooba keerates lihtsustatud, selleks tuleb õhuvoolikute kiirotsikud vabastada.



Joonis 4.2. Koppelevaatori A90 täitursiibri juhtimine pneumosilindriga

Pneumosilindri kolvivarre alumine sõrm kinnitatakse kinnitusplaatidega, mis keevitatakse olemasoleva lahenduse üles-alla liikuva nelikanttoru külge. Ülemise kinnituse asukoha määramiseks võeti arvesse pneumosilindri pikkus, millele liideti töökäik 400 mm.

4.2.2. Pneumosilindri parameetrite arvutamine

Esiteks tuleb vastavalt siibri avanemiseks tarvilikule optimaalsele jõule arvutada pneumosilindri läbimõõt. Pneumosilindri normaaltingimustel töötamiseks loetakse rõhuvahemikku 400-800 kPa [13].

$$F_o = A_o \cdot p \Rightarrow A_o = \frac{F_o}{p} = \frac{833,90}{600000} = 1,39 \cdot 10^{-3}, \quad (4.2)$$

kus F_o on täitursiibri käitlemiseks tarvilik optimaalne jõud N;

A_o – kolvi optimaalne pindala m^2 ;

p – töö rõhk Pa.

Ringi pindalavalemist tuletatakse pneumosilindri vajalik kolvi läbimõõt.

$$A_o = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} \Rightarrow D_o = \sqrt{\frac{A_o \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,39 \cdot 10^{-3} \cdot 4}{\pi}} = 0,042, \quad (4.3)$$

kus A_o on kolvi optimaalne pindala m^2 ;

D_o – kolvi optimaalne läbimõõt m.

Vastavalt eelnevalt leitud kolvi läbimõõdule, töökäigule ning silindri kinnitusvõimalustele valitakse projekti jaoks sobilik pneumosilinder (joonis 4.3).



Joonis 4.3. Festo kahepoolse toimega pneumosilinder [14]

Pneumosilindri parameetrid [14]:

- kolvi läbimõõt: 50 mm;
- kolvivarre läbimõõt: 20 mm;
- töökäik: 400 mm;
- maksimaalne töö rõhk: 1200 kPa.

Järgnevalt arvutatakse pneumosilindri teoreetiline kolvi jõud, veendumaks seadme sobilikuses antud protsessi käitamiseks.

$$F_{th} = A \cdot p = 1,9635 \cdot 10^{-3} \cdot 600000 = 1178,10, \quad (4.4)$$

kus F_{th} on teoreetiline kolvi jõud N;

A – kolvi pindala m^2 ;

p – töö rõhk Pa.

Kolvi pindala avaldub kujul:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,05^2}{4} = 1,9635 \cdot 10^{-3}, \quad (4.5)$$

kus A on kolvi pindala m^2 ;

D – kolvi läbimõõt m.

Kolvi tegelik ehk efektiivne jõud on praktikas teoreetilisest erinev, seda põhiliselt hõõrdekistuse tõttu. Standardsete töötingimuste korral võib hõõrdejõudude suuruseks eeldada ligikaudu 10% kolvi teoreetilisest jõust. Järgnevalt leitakse kahepoolse toimega silindri efektiivsed jõud mõlemasuunalise liikumise puhul. Kolvi väljaliikumisel arendatav jõud avaldub alljärgnevalt [13].

$$F_{ef-välja} = A \cdot p - FF = 1,9635 \cdot 10^{-3} \cdot 600000 - \frac{1178,10}{10} = 1060,29, \quad (4.6)$$

kus $F_{ef-välja}$ on kolvi efektiivne jõud selle väljaliikumisel N;

A – kolvi pindala m^2 ;

p – töö rõhk Pa;

FF – hõõrdejõud (ligikaudu 10% F_{th}) N.

Järgnevalt leitakse kolvi efektiivne jõud selle sisseliikumisel.

$$F_{ef-sisse} = A \cdot p - FF = 1,9635 \cdot 10^{-3} \cdot 600000 - \frac{1178,10}{10} = 871,77, \quad (4.7)$$

kus $F_{ef-sisse}$ on kolvi efektiivne jõud selle sisseliikumisel N;

A – efektiivne rõngaspindala m^2 ;

p – töö rõhk Pa;

FF – hõõrdejõud (ligikaudu 10% F_{th}) N.

Tegu on kahepoolse toimega silindriga – sisseliikumisel moodustab efektiivse rõngaspindala ehk pinna, mida õhk reaalselt mõjutab, kolvi pindala, millest on maha arvatud kolvivarre mõõtmetest tingitud pind.

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} = (0,05^2 - 0,02^2) \cdot \frac{\pi}{4} = 1,6493 \cdot 10^{-3}, \quad (4.8)$$

kus A' on efektiivne rõngaspindala m^2 ;

D – kolvi läbimõõt m;

d – kolvivarre läbimõõt m.

Pneumosilindri poolt arendatava jõu arvestamisel tuleb lähtuda valemis 4.7 leitud jõu väärtusega kolvivarre sisseliikumisel, sest koppelevaatori etteandesiibri avanemine toimub selles suunas. Täitursiibri käitamiseks arvestati optimaalseks jõuks 833,90 N ning töösse valitud Festo pneumosilindri poolt arendatavaks jõuks, esitatud parameetrite alusel, kujunes 871,77 N, mis on piisav tööoperatsiooni sooritamiseks.

4.2.3. Suruõhu ettevalmistusseadmed ning juhtahelad

Kuna teraviljakuivatis suruõhukompressor puudub, tuleb antud lahenduse läbiviimiseks hoone varustada sobiliku seadmega. Pneumosilindri käitlemine oleks optimaalne lahendada kaheastmelise kolbkompressoriga, kuna töö rõhkudel alla 1500 kPa on see sobivaim [13]. Mitmeastmelisi kolbkompressoreid kasutatakse suuremate töö rõhkude saamiseks, kus esimeses silindris kokkusurutud õhk jahutatakse ning suunatakse seejärel silindrisse, kus on kõrgem surveaste. Kompressori tootlikkuse reguleerimiseks on mitmeid võimalusi: sisselaskeklapi lukustamine avatud asendisse, õhu sisselaske sulgemine kompressorisse, sisepõlemismootorite puhul ajami pöörlemissageduse muutmine, tootlikkuse automaatne reguleerimine jne. Laialdasemat kasutust leiab viimati nimetatud, mille puhul kompressor kas töötab täiskoormusel või on välja lülitatud. Ülemine rõhk, mille saabudes kompressor välja lülitub, ning alumine rõhk, kus kompressor käitatakse, on muudetavad. Nimetatud rõhu väärtused määravad sisse- ja väljalülitamissageduse.

Kirjeldatud protsessi toimimise aluseks on suruõhureservuaar. Kompressorseadme valikul lisaks muudele kriteeriumitele on olulise tähtsusega just suruõhureservuaari ruumala, mis määrab vastavalt fikseeritud töö rõhkudele kompressori töötsükli. Suruõhureservuaari ruumala määravad järgnevad tegurid: kompressori tootlikkus, õhu kulu ning lubatud rõhu kõikumised pneumotorustikus [13]. Esmalt tuleb leida lubatud rõhu kõikumine – ülemine rõhk (p_{\max}) on fikseeritud ning selle väärtuseks oli 600 kPa. Järgnevalt leitakse vähim rõhk, mille puhul punktis 4.1 määratud optimaalne jõud oleks tagatud. Arvutus viiakse läbi sarnaselt valemis 4.7 tehtule, sest kolvi sisseliikumisel oli efektiivne pindala ning seeläbi ka sama rõhu juures saavutatav jõud väiksem. Hõõrdejõud moodustas ligikaudu 10% teoreetilisest jõust, lihtsustatult jäetakse see väärtus kehtima alljärgneva arvutuse puhul.

$$p_{\min} = \frac{F_o + FF}{A} = \frac{833,90 + 117,81}{1,6493 \cdot 10^{-3}} = 577038,74, \quad (4.9)$$

kus p_{\min} on rõhk, mille puhul optimaalne jõud oleks tagatud N;

F_o – täitursiibri käitlemiseks tarvilik optimaalne jõud N;

FF – hõõrdejõud (ligikaudu 10% F_{th}) N;

A – efektiivne rõngaspindala m^2 .

Teades, et maksimaalne rõhk on 600000 Pa ning minimaalne 577038,74 Pa, leitakse rõhu kõikumine.

$$\Delta p = p_{\max} - p_{\min} = 600000 - 577038,74 = 22961,26, \quad (4.10)$$

kus Δp on lubatav rõhu kõikumine Pa;

p_{\max} – maksimaalne töö rõhk Pa;

p_{\min} – minimaalne töö rõhk Pa.

Järgnevalt leitakse seadme tööks vajalik õhukogus. Õhukoguse planeerimiseks on tähtis teada silindri poolt tarbitavat õhuhulka. Õhuhulga leidmiseks peame esmalt teadma silindri sisepinna ruumala, mis saadakse siseläbimõõdu ning töö käigu kaudu. Kahepoolse toimega silindri puhul on tegelikkuses silindri sisseliikumisel õhukogus silindrivarre tõttu väiksem. Ühe töötsükli vältel tarbitud õhukoguse moodustavadki kaks nimetatud erinevat ruumala. Töö rõhuks järgneva arvutuse puhul loetakse keskmist rõhku (p_k), mis avaldub maksimaalse ning minimaalse rõhu aritmeetilise keskmisena, väärtusega 588519,37 Pa. Õhukulu leidmine kahepoolse toimega silindri puhul avaldub alljärgnevalt [15].

$$Q = \left[\frac{(\pi \cdot D^2)}{4} \cdot s + \frac{(\pi \cdot (D^2 - d^2))}{4} \cdot s \right] \cdot \frac{(p_n + p_k)}{p_n} = \left[\frac{(\pi \cdot 0,05^2)}{4} \cdot 0,4 + \frac{(\pi \cdot (0,05^2 - 0,02^2))}{4} \cdot 0,4 \right] \cdot \frac{(101325 + 588519,37)}{101325} = 9,84 \cdot 10^{-3}, \quad (4.11)$$

kus Q on õhukulu m^3 ;

D – kolvi läbimõõt m ;

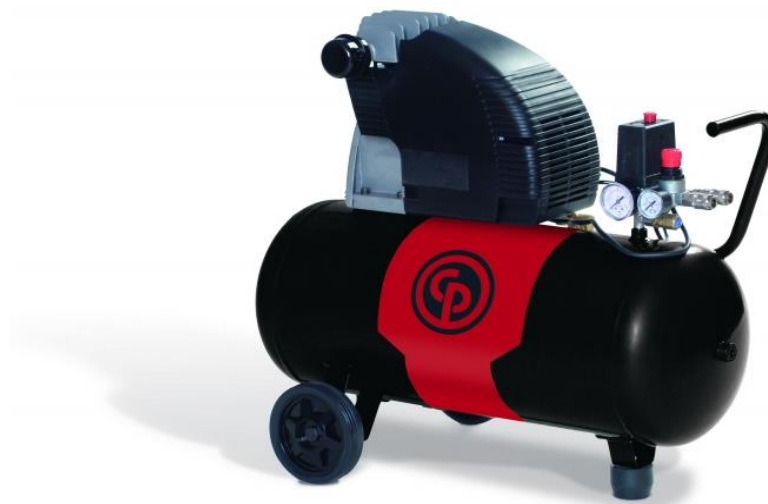
s – liikumisulatus m ;

d – kolvivarre läbimõõt m ;

p_n – normaalrõhk Pa ;

p_k – keskmine tööõhk Pa .

Tsüklite arvu antud lahenduse puhul on keeruline määrata kuna manuaaljuhtimise puhul avatakse pneumojaotiga silindrit senikaua kuni elevaator on sobivalt koormatud ning etteandekolus materjali lõppedes siiber suletakse, seega sooritab pneumosilinder šahtkuivati täitmisel vaid ühe töötsükli. Tulenevalt kirjeldatule piisab süsteemi käitamiseks väikese suruõhureservuaariga kompressorist (joonis 4.4).



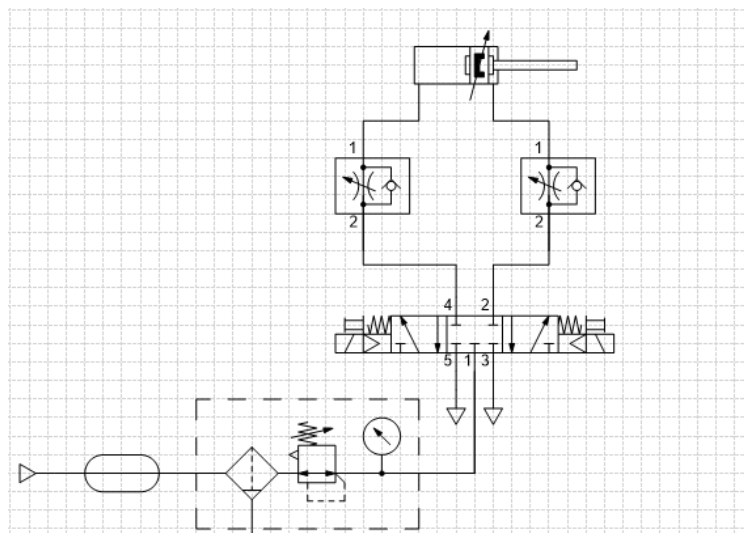
Joonis 4.4. Kolbkompressor CP1,5/50 [16]

Kolbkompressori parameetrid [16]:

- maksimaalne tööõhk: 8 bar'i;

- tootlikkus rõhul 6 bar'i: 119 l/min;
- survepaak: 50 l.

Pneumosilindriga projekteeritud koppelevaatori täitursiibri juhtimiseks koostati pneumoskeem (joonis 4.5), mis komplekteeriti Eesti Maaülikooli pneumaatika laboris, veendumaks selle töötamises.



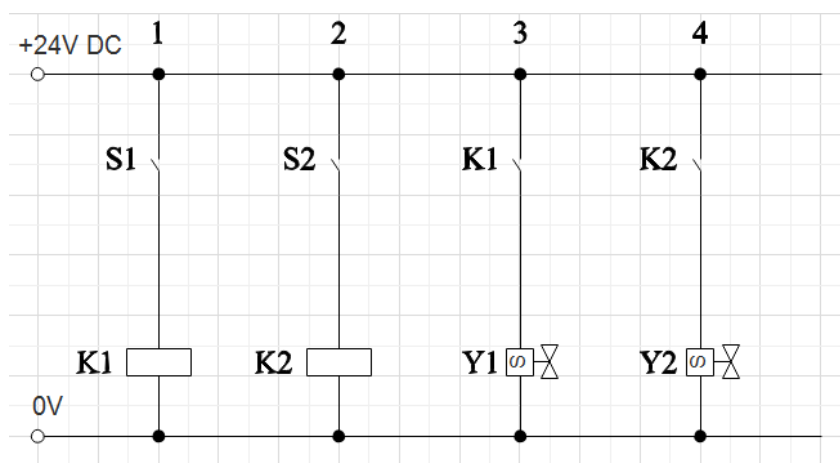
Joonis 4.5. Kahepoolse toimega pneumosilindrit juhtiv pneumoskeem

Pneumaatilist ahelat kujutatakse joonistel plokskeemidena, kus protsessi tööd reguleerivad elemendid on kindlas järjekorras. Kõrgemal asetsevad täituriid, milleks koppelevaatori täitursiibri tööd reguleeriva pneumaatilise ahela puhul on kahepoolse toimega pneumosilinder. Järgmise osa moodustavad kiirust reguleerivad komponendid (joonisel 4.5 kujutatule on nendeks drosseleid). Drosseleid kasutatakse õhuhulga reguleerimiseks, mislābi muutub näiteks pneumosilindri liikumiskiirus või pneumomootori puhul ka pöörlemiskiirus [13]. Antud süsteemi puhul on kasutatud reguleeritavaid ning mõõdavooluklapiga varustatud drosseleid. Mõõdavooluklapp võimaldab õhu läbivoolu muuta ühes suunas. Nimetatud asjaolu tagab täitursiibri varieeruva avanemis- ning sulgemiskiiruse võimalikkuse.

Pneumaatilise ahela järgmises blokis on esitatud juhtelemendid. Suruõhu liikumisteedkonna muutmiseks kasutatakse 5/3 pneumojaotit. Jaoti valikul oli oluliseks kriteeriumiks, et nullasendis oleks süsteem suletud olekus, tagamaks täitursiibri asukoha fikseeritud asendisse. Lähteasendid aga peavad võimaldama silindri mõlemasuunalist liikumist. Pneumojaoti on

kaheksuguse juhttoimega: süsteemi on võimalik käitada nii elektrilüliti kasutades, mil jaotit liigutatakse solenoidklapi kaudu, kuid ka manuaalselt, kasutades selleks jaoti küljes olevat surunuppu. Pneumoskeemi viimases seksioonis on kajastatud suruõhu toiteelemendid ning samuti ka vajalikud suruõhu ettevalmistusseadmed. Nimetatud üksus koosneb kompressorist, suruõhureservuaarist ning suruõhu ettevalmistusblokist, kuhu kuulub: filter, rõhuregulaator ning manomeeter.

Võimaldamaks pneumojaoti elektrilist juhtimist, koostati vastav elektriskeem (joonis 4.6).



Joonis 4.6. Pneumojaoti tööd reguleeriv juhtahel

Surunuppude vajutamiseega võimaldatakse pneumosilindri kahepoolset liikumist, kusjuures lülid ei ole fikseeruvad, mistõttu ühendus kestab senikaua kuni lüliti on rakendatud asendis. Lüliti rakendamisel sulgetakse releemähiste vahendusel kontaktid, mis omakorda võimaldavad pneumojaoti elektromagnetite tööd klappide liigutamiseks.

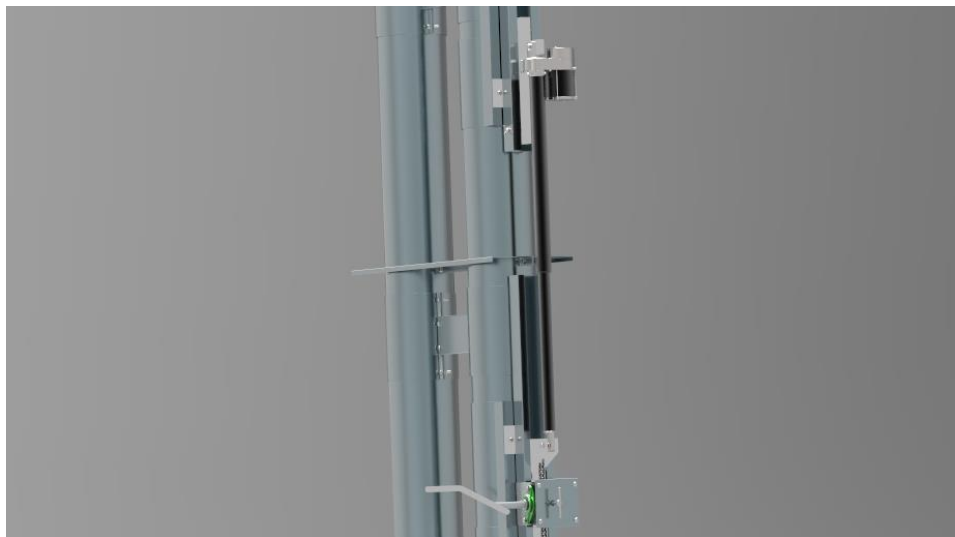
4.3. Täitursiibri juhtimine lineaartäituriga

Võrreldes pneumosilindri kasutamisega oleks lineaartäituri ühildamine kuivati olemasoleva seadmestikuga sobivam – ei vajataks eraldi toiteseadet nagu pneumaatilise lahenduse puhul oli selleks suruõhukompressor. Montaaž seevastu oleks mõnevõrra töömahukam (täpsemalt

käsitletud punktis 4.3.1). Täitursiibri automatiseerimine otsustatakse teostada, kasutades lineaartäiturit, kuna teiste suruõhku tarvitavate süsteemide loomine pole lähiajal kuivatis plaanis ning seega on suruõhuseadmete hankimine üksiku täituri käitlemiseks ebaratsionaalne.

4.3.1. Lineaartäituri montaaž olemasolevale süsteemile

Nii nagu ka pneumosilindri kinnitamise puhul, tuleb kinnitus konstrueerida selliselt, et jääks võimalus täitursiibri manuaalseks reguleerimiseks, kasutades olemasolevat mehhanismi. Pneumosilindri puhul võis silindri ülemise kinnituse fikseerida jäigalt, sest õhuvoolikute vabastamisel liikus silindrivars vabalt ülesse. Lineaartäituri kruvimehhanism sellist võimalust ei oma – liikumist on võimalik tekitada elektrimootori poolses otsas pöördliikumise toime, mitte aga alumise kinnitussilma kaudu rakendatava pikijõuga. Säilitamaks reguleerimisel võimalus vajadusel kasutada ka manuaalset hooba, otsustati mootori ülemine kinnitus lahendada siinjuhiku põhimõttel (joonis 4.7).



Joonis 4.7. Koppelevaatori A90 täitursiibri juhtimine lineaarmootoriga

Kinnitusmehhanism plaaniti koppelevaatori ümartorule kinnitada sarnaselt manuaalse juhthoova mehhanismiga, kasutades selleks kuivatitootja Antti pakutavaid toruklambreid

(lisa A – Projekteeritud seadme koost: osa 8). Toruklambrile keevisliitega ühendatavat sobivate mõõtmatega karpprofiili ei olnud võimalik soetada, vajalike mõõtmatega detail (lisa A – Karpprofiil (165x50x2)) valmistati ettevõttes OÜ Kingli Grupp 2 mm tsingitud plekist firma Göteneds painutuspingiga K25-25 Combi. Nelikanttoru (lisa A – Nelikanttoru (100x50x3)) üks külg lõigati osaliselt ära, võimaldamaks selles lineaarjuhiku liikumine (lisa A – Komplekteeritud lineaarjuhik). Toruprofiilid hangiti Tartus asuvast metallifirmast Kane Metall. Materjal väiksemate detailide tarvis nagu lineaarjuhiku teljed (lisa A – Lineaarjuhiku telg), silindri alumise silma kinnitusplaadid (lisa A – Silindri sõrme kinnitusplaat) ning kinnitusplaadid nelikanttoru fikseerimiseks karpprofiilile (lisa A – Kinnitusplaat (160x80x4)), soetati AS Saare Erektist. Juhiku teljed kuullaagrite istamiseks treiti Eesti Maaülikooli töökojas. Enne detailide valmistamist oli oluline arvutada laagritega kokkupuutuvate pindade piirmõõtmed (tabel 4.1). Istu arvutamisel rakendati õppeaines Standardiseerimise põhikursus omandatud teadmised. Ist valiti pretsedentide meetodil, misjärel sobivuse tõestamiseks viidi läbi kontrollarvutused.

Tabel 4.1 Kuullaagri sisevõru istu määramine [12]

Nimetus	Ava		Võll	
	tähis	väärtus, mm	tähis	väärtus, mm
1. Suurim piirmõõde	D_{\max}	20	d_{\max}	20,015
2. Vähim piirmõõde	D_{\min}	19,990	d_{\min}	20,002
3. Ülemised piirhälbed	ES	0	es	0,015
4. Alumised piirhälbed	EI	0,01	ei	0,002
5. Tolerantsid	T_D	0,01	T_d	0,013
6. Suurim ping	$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 20,015 - 19,990 = 0,025 \text{ mm}$			
7. Vähim ping	$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 20,002 - 20 = 0,002 \text{ mm}$			
8. Keskmise ping	$N_a = (N_{\max} + N_{\min})/2 = (0,025 + 0,002)/2 = 0,0135 \text{ mm}$			
9. Pingu tolerants	$T_N = N_{\max} - N_{\min} = 0,025 - 0,002 = 0,023 \text{ mm}$			
10. Tolerantsi järk	IT 6			

Arvutustest selgus, et valitud parameetreid kasutades tekib väikese pinguga ist ($\varnothing 20 \text{ L0/k6}$), mis võimaldab kuullaagri monteerimist ilma spetsiaalsete tööpinkideta, piisab vasaraga löökoormuse rakendamisest (istu skemaatiline kujutamine esitatud lisa B). Arvutused teostati laagri sisevõrule, kuna välisvõru liigub modifitseeritud nelikanttoru sisepindadel, kus profiilid ning laagrid on valitud sellisena, et oleks võimalik lineaarjuhiku vaba liikumine.

Lineaarjuhiku telgedele keermestati sisekeere, millede kaudu toimub mehhanismi ülemisse asendisse fikseerimine. Kinnituskoha puhul arvestati, et mootori töökäik 400 mm oleks tagatud. Automaatjuhtimise puhul on juhik kinnitatud fiksaatorpoltidega, juhul kui soovitakse kasutada käsihooba, eemaldatakse poldid ning lineartaäitur koos juhikuga liigub avatud toruprofilis ülesse.

Kinnitusmehhanismi tugevusarvutus viiakse läbi selle nõrgimas lülis, milleks on juhiku liikumist takistavad fiksaatorpoldid. Fiksaatorpoltidele mõjuva kogujõu moodustab täitursiibri avanemiseks mõeldud optimaalne jõud, millele lisandub lineartaäturi ning selle kinnitamiseks mõeldud liikuva raami massidest tingitud jõud.

$$F_k = F_o + (m_m + m_k) \cdot g = 833,90 + (6,5 + 2,7) \cdot 9,81 = 924,15, \quad (4.12)$$

kus F_k on fiksaatorpoltidele rakenduv kogujõud N;

F_o – täitursiibri avanemiseks vajalik optimaalne jõud N;

m_m – lineartaäturi mass kg;

m_k – raami mass kg;

g – raskuskiirendus m/s².

Keermestatud telje ning karpraua vahel fiksaatorpoltide paigaldamisel ka nende pingutamisel hõõrdejõudu ei teki. Arvestades eelmainitud, takistab antud juhul lineartaäturi siinjuhiku fikseeritavuse poldi varras. Liite purunemine esineb fiksaatorpoltide läbilõikamisel, seetõttu tuleb nende lõikepindadel uurida τ pingeid. Tegelikult mõjub fiksaatorpoltidele ka paindemoment, kuid praktiliselt olematu õla tõttu seda ei arvestata (joonis 4.8). Oletatakse, et koormus jaguneb kahe fiksaatorpoldi vahel võrdselt. Järgnevalt viiakse läbi ühe fiksaatorpoldi tugevusarvutus lõikele. Arvestades eelmainitud jõudude jaotust, mõjub ühele poldile pool rakenduvast kogujõust. Fiksaatorpolt peab rahuldama tugevustingimust $\tau \leq [\tau]$. Tugevustingimus lõikele avaldub kujul [17]:

$$\tau = \frac{4 \cdot \frac{F_k}{2}}{n \cdot \pi \cdot d_n^2} \leq [\tau] = \frac{4 \cdot \frac{924,15}{2}}{1 \cdot \pi \cdot 7^2} = 12,01 < 480, \quad (4.13)$$

kus τ on tegelik lõikepinge N/mm²;

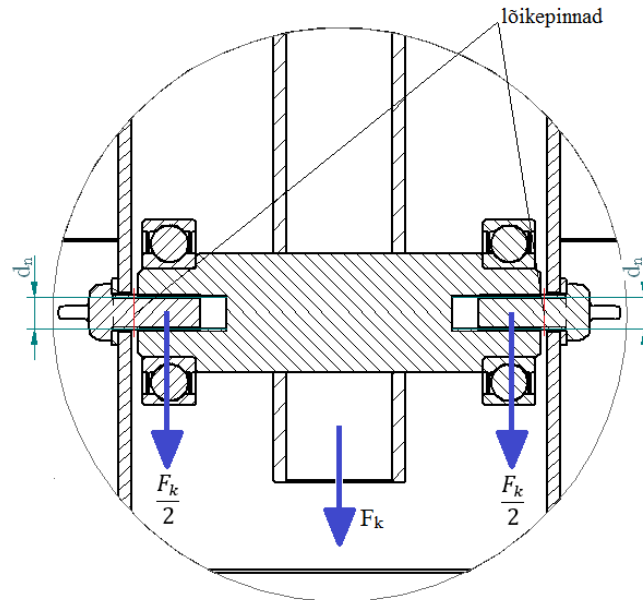
F_k – fiksaatorpoltidele rakenduv kogujõud N;

n – lõikepindade arv tk;

d_n – fiksaatorpoldi netoläbimõõt mm - 8.8 tugevusklassiga poldi tõmbetugevus on 800

N/mm², lubatav lõikepinge moodustab 0,6...0,8 tõmbetugevusest [18];

$[\tau]$ – poldi lubatav lõikepinge 480 N/mm².



Joonis 4.8. Fiksaatorpoltide tugevusarvutuse skeem

Fiksaatorpolt on piisava läbimõõdu ning tugevusklassiga kuna vastab eelkirjeldatud tugevustingimusele (valem 4.13).

4.3.2. Lineartäituri valik

Mootori valikul oli tähtsamateks tingimusteks järgnevad punktid: käigupikkus, tõstejõud, liikumiskiirus, samuti et tegemist oleks vahelduvvoolumootoriga ning seade oleks sobiv töötamiseks tolmuses keskkonnas. Kuna koheselt kontrolleri väljundreleele täiturit ühendada ei soovitata, tuleb vältimatult kasutada releeühendusi, kus kontrolleri väljundist saadakse signaalvool. Juhul kui edaspidi soovitakse sarnaselt automatiseerida muid kuivatis olevaid

mehhanisme tuleks alalisvoolumootori kasutamisel süsteem varustada küllaltki suure toiteallikaga, aga kasutades alalisvoolu signaalvooluna, kus täitur töötab vahelduvvooluvõrgus, piisab tunduvalt väiksemast ning seega ka odavamast toiteallikast. Lineaartäitur peab olema võimeline saavutama punktis 4.1 määratud optimaalse jõu. Seadet valides selgus, et enamuses on need varustatud alalisvoolumootoritega. Mõistliku hinna ning sobivate tööparameetritega mootorit oli küllaltki keerukas leida, sobivaks osutus alljärgnev seade (joonis 4.9).



Joonis 4.9. Lineaartäitur GRA 255 [19]

Lineaartäituri parameetrid [19]:

- käigupikkus: 500 mm;
- lineaarjuhiku liikumiskiirus: 7,2 mm/s;
- tõste- ja lükkejõud: 2000 N;
- vahelduvvoolumootor: 220 V; 0,75 A;
- kaitseklass: IP54.

Valitud seadme käigupikkus on suurem kui arvestatud töökäik 400 mm, kuid tänu mõlemasuunalist liikumist piiravatele otsaanduritele on soovitatav väärtus probleemideta seadistatav. Lineaarjuhiku liikumiskiirus 7,2 mm/s tundub piisava kiirusena, kuid kui montaažil selgub vastupidine, siis on võimalik antud parameetrit sagedusmuunduri kasutuselevõttuga varieerida. Seadme tõste- ning lükkejõud on 2000 N, mis arvestades siibri tööks tarvilikku jõudu, on tunduvalt suurem. Vaatamata eelmainitule, otsustati kasutada antud lineaartäiturit ning

selle tööd suurema varuga kuna sobivate parameetritega seadet väiksema rakendusjõuga ei olnud saada.

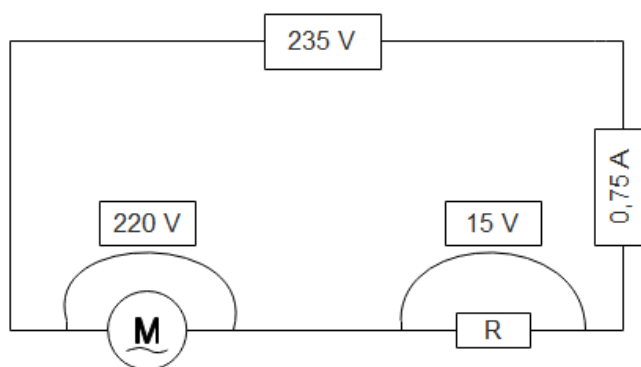
Kuna vahelduvvoolumootor osutus 220 V võrgupingega seadmeks, siis mootori mähiste kuumenemise vältimiseks tuli tagada ettenähtud tööpinge. Sobiva pinge saavutamiseks tuli mootori toiteahel varustada takistiga, kuna tegelikuks võrgupinge väärtuseks on 230 V (lubatav kõikumine +/- 10%). Mootorile kujutab ohtu ülepinge, mistõttu takisti arvutamisel arvestatakse võrgupingena pisut suuremat väärtust (joonis 4.10). Mootori voolutarve on 0,75 A ning teades soovitud pingelangu on Ohmi seadusest võimalik arvutada takistus [20].

$$I_m = \frac{\Delta U}{R} \Rightarrow R = \frac{\Delta U}{I_m} = \frac{15}{0,75} = 20 , \quad (4.14)$$

kus I_m on mootori voolutarve A;

ΔU – pingelang V;

R – takistus Ω .



Joonis 4.10. Takisti arvutusskeem

Sobiva takisti valikul on oluline lisaks takistuse väärtusele ka võimsus, mis määratakse alljärgnevalt [20].

$$P = \Delta U \cdot I_m = 15 \cdot 0,75 = 11,25 , \quad (4.15)$$

kus P on võimsus W;

ΔU – pingelang V;

I_m – mootori voolutarve A.

Arvutustest lähtuvalt sobib mootori toitepinge korrigeerimiseks takisti, mille takistus on 20 Ω ning võimsus tuleks valida valemis 4.15 leitule mõnevõrra suurem, olenevalt turul pakutavate takistite parameetritest.

4.3.3. Automaatjuhtimist võimaldavad seadmed

Lineaartäiturit hakatakse juhtima nii manuaalselt kui ka automaatselt. Manuaalseks juhtimiseks varustatakse juhtimissüsteem juhtpuldiga (lisa C), mille kaudu operaator avab täitursiibrit kuni koppelevaatori soovitud koormuseni, mida on võimalik visuaalselt jälgida ampermeetrit. Lüliti komplekti kuulub ka kaugjuhitav pult, mis riputatakse kuivati etteandekolu lähedusse – see võimaldab etteannet reguleerida estakaadi juures distantsilt.

Automaatse juhtimise puhul hakatakse täitursiibrit käitama vastavalt koppelevaatori asünkroonmootori koormusele. Punktis 3.1 graafikutel kajastatule on olenevalt kultuurist ning selle niiskusesisaldusest sama täitursiibri avatuse juures elevaatori koormamine erinev. Automaatse juhtimisega soovitaksegi, olenemata kultuurist, tekitada olukord, kus elevaator oleks ühtlaselt koormatud. Lineaartäiturit hakatakse juhtima loogikakontrolleriga Logo 24RC (joonis 4.11).



Joonis 4.11. Loogikakontroller Siemens Logo 12/24RC [21]

Kontrolleri parameetrid [21]:

- toitepinge: alalisvool 12/24 V;
- sisendid: 8 digitaalsisendit, millest 4 on võimalik kasutada analoogsisenditena (0-10 V);
- väljundid: 4 digitaalväljundit (relee 10 A);
- montaaž: 35 mm DIN - liistule.

Antud seadme näol on tegemist moodulkontrolleriga, seega olenevalt edaspidistest automatiseeritavatest lahendustest on võimalik kontrolleri laiendada. Seadmel on 8 digitaalsisendit, millest 4 on võimalik rakendada analoogsisenditena (vaikimis on nendest kasutusel kaks: I7 ning I8). Täitursiibri asendi reguleerimiseks on tarvilik just analoogsisend (lisa C – I7); programmiga seadistatakse alumine ning ülemine piirväärtus, millede vahemikes lineaartäitur töötab. Programm kirjutatakse sedasi, et šahti täitumisel saavutaks prioriteedi nivooandurilt tulev signaal (lisa D), mis sunnib koppelevaatori täitursiibri lõpuni sulguma, eesmärgiga vältida ummistuste tekkimine; selleks kasutatakse digitaalsisendit (lisa C – I1). Nivooandurilt signaali edastamiseks kontrolleri sisendisse tuli kuivati elektrisüsteem varustada lisareleega (lisa E).

Koppelevaatori asünkroonmootori koormuse ning selle väärtuse muutmisel loogikakontrolleri analoogsisendile sobivaks, kasutatakse voolumõõtemuundurit (joonis 4.12). Voolumõõtemuunduri ACT20P-CMT-10-AO-RC-S sisendvool on mikrolüliteid kasutades seadistatav vahemikus 0...60A [22].

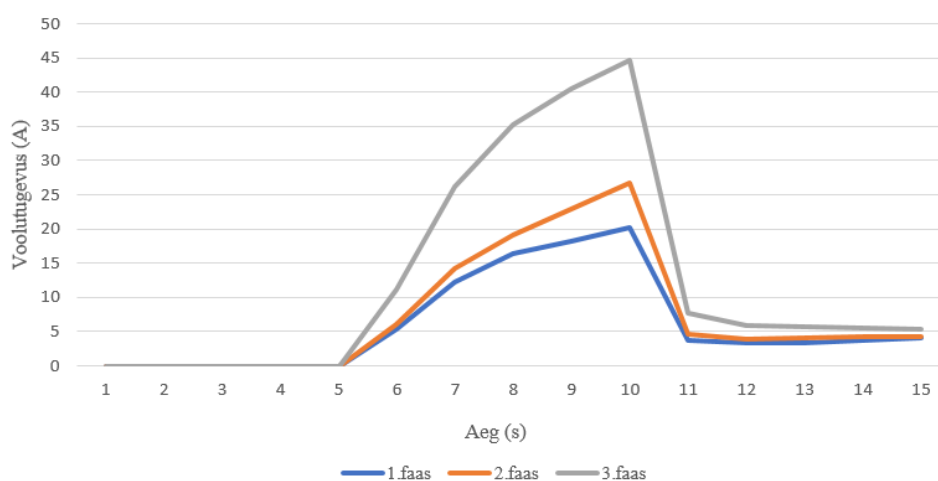


Joonis 4.12. Weidmüller'i voolumõõtemuundur ACT20P-CMT-10-AO-RC-S [22]

Voolumõõtemuunduri parameetrid [22]:

- toitepinge: alalisvool 12/24 V;
- sisendvool: 0-60 A AC/DC;
- väljundvool: 0(4)...20 mA;
- väljundpinge: 0...10 V;
- montaaž: 35 mm DIN - liistule.

Antud tööks vajalik sisendvool lähtuvalt koppelevaatori mootorist on 0...10 A vahelduvvool. Eeltoodud vahemik sobib hästi kuna elevaatori seadistatav töökoormus on ligikaudu 8 A ning mida täpsemas vahemikus on lähtevool, seda täpsem saadakse ka väljundsignaal ning tänu sellele on võimalik lineaartäituri vahendusel täitursiibrit paremini juhtida. Voolumõõtemuunduri väljundist on võimalik võtta väljundvool 0(4)...20 mA ning väljundpinge 0...10 V. Logo kontrolleri analoogsisend on 0...10 V seega tuleb voolumõõtemuunduri väljund häälestada 0...10 V režiimile. Voolumõõtemuunduri valikul tuli veenduda, et seade taluks kõrgeid käivitusvoolusid kuna koppelevaatori asünkroonmootori käivitusvool on kordades suurem kui töövool (joonis 4.13).



Joonis 4.13. Elevaatori asünkroonmootori käivituskoormus

Antud voolumõõtemuunduri puhul ei ole kaabel, mille voolu soovitakse mõõta, ühendatud seadme klemmidele, vaid läbib selle korpust – sellise mõõtemetodi puhul ei ole seade tundlik pidevale nominaalvoolust kõrgemale voolule ega kõrgetele käivitusvooludele.

Loogikakontroller ning samuti ka voolumõõtemuundur töötavad 24 V alalisvoolu toitel, seega vajatakse ka toiteplokki. Siemens'i komplekti kuuluva 2,5 A toiteploki asemel valiti Mean Well'i 4 A seade, kuna see osutus vaatamata suuremale amperaažile tunduvalt soodsamaks. Toiteploki sisendpinge vahelduvvoolu puhul on 85 – 264 V [23]. Seade on samuti monteeritav 35 mm DIN - liistule.

4.3.4. Projekteeritava seadme maksumus

Soome kuivatite - ning teraviljakäitlusseadmete müüjana tuntud Antti tehnika edasimüügiga tegelevast ettevõttest Baltic Agro Machinery OÜ küsiti nende poolt pakutava täitursiibri automaatjuhtimisseadme hinnapakumine (lisa F). Tehase pakutaval variandil on kasutatud lineaartäiturit samuti nagu lõputöö raames projekteeritud seadmelgi, kuid mootori juhtsüsteem on erinev. Müüdava eksemplari puhul on täitursiibri avatus reguleeritud kindlale kõrgusele fikseeritud asendiandurite kasutamisega. Sisuliselt on juhttee varustatud kahe anduriga, kus ülemine määrab siibri maksimaalse avatuse ning alumine teavitab siibri sulgumisest.

Lõputöö eesmärgiks oli teostada täitursiibri juhtimine koppelevaatori asünkroonmootori koormuse kaudu, mis kokkuvõttes, katsete andmete alusel, peaks suurendama ka elevaatori tootlikkust. Lõputöö raames projekteeritud seade sooviti komplekteerida sedasi, et lisaks automaatjuhtimisele oleks võimalik rakendada ka manuaalset tõsteseadet, mis kuivatitootja Antti automatiseeritud lahenduse puhul ei ole võimalik. Lineaartäitur koos kinnitusmehhanismiga monteerituna olemasolevale seadmestikule on esitatud lisades (lisa G). Täitursiibri automatiseerimiseks vajalikemaks, ühtlasi ka kulukamateks seadmeteks olid lineaartäitur, loogikakontroller, voolumõõtemuundur ning toiteplokk (tabel 4.2).

Tabel 4.2 Täitursiibri automaatjuhtimist võimaldavate seadmete hinnad

Seadme nimetus	Mudel/Mark	Summa, EUR
1. Lineaartäitur	GRA 255	231,05
2. Loogikakontroller Siemens	Logo 12/24 RC	88,80
3. Voolumõõtemuundur Weidmüller	ACT20P-CMT-10-AO-RC-S	94,40
4. Toiteplokk Mean Well	MDR	31,00

Lisaks eelnevas tabelis kajastatule tehti muid kulutusi väiksematele tarvikutele, komplektsele automatiseeritud täitursiibri seadmele tehtud summaarsed kulutused on esitatud lisades (lisa H).

KOKKUVÕTE

Lõputöös püstitatud hüpotees, et olenevalt kultuurist ning selle omadustest on täitursiibri sama avatuse juures koppelevaatori asünkroonmootorile rakenduv koormus erinev, leidis katsete näol kinnitust.

Enne täitursiibri käitlemiseks sobiliku juhtseadme valikut viidi läbi katsed, mille raames sooviti teada saada siibri liikumiseks tarvilikku jõudu. Tulemustest selgus, et täidetud etteandekolu puhul siibri pinnale rakenduva rõhumisjõu tulemusena liugepindade hõõrdumise suurenemise tõttu nõutav avanemismass võrreldes tühja etteandekoluga kujunes ligikaudu 20 kg võrra kõrgemaks. Massi kaudu arvutati nõutav minimaalne jõud. Leitud jõule arvestati varu ning saadi täiturilt nõutav optimaalne jõud.

Täitursiibri juhtimiseks pakuti kahte erinevat lahendust: esimesel juhul käsitleti siibri pneumaatilist juhtimist, teise variandina kaaluti kasutada lineaartäiturit. Teraviljakuivatis muud suruõhul töötavad seadmed puudusid ning lähitulevikus ei olnud neid samuti plaanis soetada. Mainitud aspekt kujunes põhiliseks kriteeriumiks, kasutamaks täitursiibri juhtimiseks lineaartäiturit.

Pärast sobiva mootori valimist, hakati otsima automaatjuhtimist võimaldavaid seadmeid. Olulistemaks nendest olid voolumõõtemuundur ning loogikakontroller. Kontrolleriks valiti seade, mida on tulevikus võimalik laiendada. Samuti oli seadme valikul tähtis selle nii analoog- kui ka digitaalsisendite olemasolu. Koppelevaatori asünkroonmootori ühelt faasilt signaali konverteerimiseks ning edastamiseks kontrolleri sisendisse, hangiti voolumõõtemuundur. Algselt kaaluti lahendada süsteem kasutades voolutrafit, kuid sel juhul oleks tarvis läinud rohkem eraldiseisvaid komponente. Voolumõõtemuunduri puhul oli oluline valida sellise mõõtemetodiga seade, mis ei oleks tundlik nimivoolust suurematele koormustele, kuna asünkroonmootori käivitusvool on ligikaudu viis korda suurem selle nimivoolust nagu selgus mõõtmiste tulemusel. Tähtis oli jälgida, et seadmed töötaksid ühesugusel toitepingel, võimaldamaks nende varustamise ühise toiteploki.

Lõputöö raames õnnestus projekteerida turul pakutavatest seadmetest mõnevõrra täiuslikum tehniline lahendus, seda eelkõige juhtimisviisi silmas pidades. Seadme automatiseerimisel

jäeti võimalus kasutada täitursiibri juhtimiseks esialgset mehhanismi, mis on samuti erinevuseks müüdavatele eksemplaridele. Püstitatud eesmärk sai täidetud ning kuivati suudeti varustada seadmega, mis kujunes võrreldes tehase lahendusega rahaliselt oluliselt ökonoomsemaks.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Kallas, A.** (1996). Soeõhkkuivatid. Saku: Eesti Põllumajanduse Mehhaniseerimise Instituut. 71 lk.
2. **Kallas, A.** (1994). Külmoõhkkuivatid. Saku: Eesti Põllumajanduse Mehhaniseerimise Instituut. 21 lk.
3. **Kallas, A., Kalmet, I., Linask, Ü., Treier, V., Haabpiht, J.** (1967). Teravilja koristusjärgse töötlemise mehhaniseerimine. Tallinn: Valgus. 376 lk.
4. **Treier, V., Hovi, M.** (1997). Kuivatusõpetus. Tartu: Eesti Põllumajandusülikool. 64 lk.
5. Antti – Teollisuus Oy. (2008). Paigaldusjuhend. [on – line] http://antti-teollisuus.fi/sites/default/files/408071_antti_m06_2w_kuivatusseksioon_et_01082008.pdf (10.11.2016)
6. Tatoli AS – Kuivatid. [on – line] <http://www.tatoli.ee/?id=46> (10.11.2016)
7. Cimbria – Drum dryer. [on – line] <http://www.cimbria.com/products/drying/drum-dryer> (14.05.2017)
8. **Linask, Ü.** (1970). Taimekasvatuse mehhaniseerimine. Tallinn: Valgus. 396 lk.
9. Agri Partner OÜ – Teravilja pneumotransportöörid. [on – line] <http://agripartner.ee/toode/teravilja-pneumotransportoovid/> (28.12.2016)
10. **Pals, A.** (2014). Pakettkuivati 23MF2 ehitusprojekt.
11. **Järvik, J.** (2014). Üldelektrotehnika. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 415 lk.
12. **Kulu, P.** (2015). Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 492 lk.
13. **Uulma, R.** (1996). Pneumaatika alused – õpik. Tallinn: Festo Didactic. 110 lk.
14. RS – Pneumatic cylinder. [on – line] <http://ee.rsdelivers.com/product/festo/dsbc-50-400-ppsan3/festo-double-action-pneumatic-profile-cylinder-50mm-bore-400mm-stroke/1214779> (03.05.2017)
15. **Parr, A.** (1998). Hydraulics and pneumatics. Oxford: Butterworth-Heinemann. 238 lk.
16. Comvac – Kolbkompressor CP1,5/50. [on – line] <http://www.comvac.ee/et/a/kolbkompressor-cp1-5-24-1> (12.04.2017)
17. **Klauson, A., Metsaveer, J., Põdra, P., Raukas, U.** (2012). Tugevusõpetus – õpik kõrgkoolidele. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. 595 lk.
18. **Masso, T.** (2010). Ehituskonstruktori käsiraamat. Tallinn: Ehitame Kirjastus. 576 lk.
19. Linear actuator. [on – line] https://www.alibaba.com/product-detail/100-600mm-stroke-Metal-gear-box_60432051300.html (08.04.2017)
20. **Loide, R.** (2010). Elekter ja magnetism 1. osa. Tallinn: Koolibri. 192 lk.

21. Elit OÜ – Loogikakontroller Logo 12/24RC. [*on – line*]
<http://www.elit.ee/et/shelf.do?cmd=iv&pid=6ED1052-1MD00-0BA6> (08.04.2017)
22. Elit OÜ – Voolumõõtemuundur ACT20P-CMT-10-AO-RC-S. [*on – line*]
<http://www.elit.ee/et/shelf.do?cmd=iv&pid=1510470000> (08.04.2017)
23. Elit OÜ – Toiteplokk MDR. [*on – line*] <http://www.elit.ee/et/shelf.do?cmd=iv&pid=MDR-100-24> (08.04.2017)

SUMMARY

The hypothesis of the thesis, which proposes that the force applied to the electric engine of the elevator, while the shutter plate remains open to the same extent, is different, depending on the cereal and its attributes, was confirmed.

Before I chose a suitable controlling device to operate the shutter plate, I conducted a test to calculate the force that is needed to move the shutter plate. The results indicate that in the case of a full intake, the pressure force that is applied to the shutter plate raises the friction of the slide surface. I calculated the necessary minimal force via the force applied while opening the shutter plate, included spare to that force and found the optimal force needed from the actuator.

Two solutions were offered for controlling the shutter plate: the first one proposed to control the shutter plate pneumatically, the other option was to use a linear actuator. There were no other devices in the grain dryer that worked with compressed air and there was no intention to buy them in the near future. The aforementioned argument was the principal reason why I chose a linear actuator to control the shutter plate.

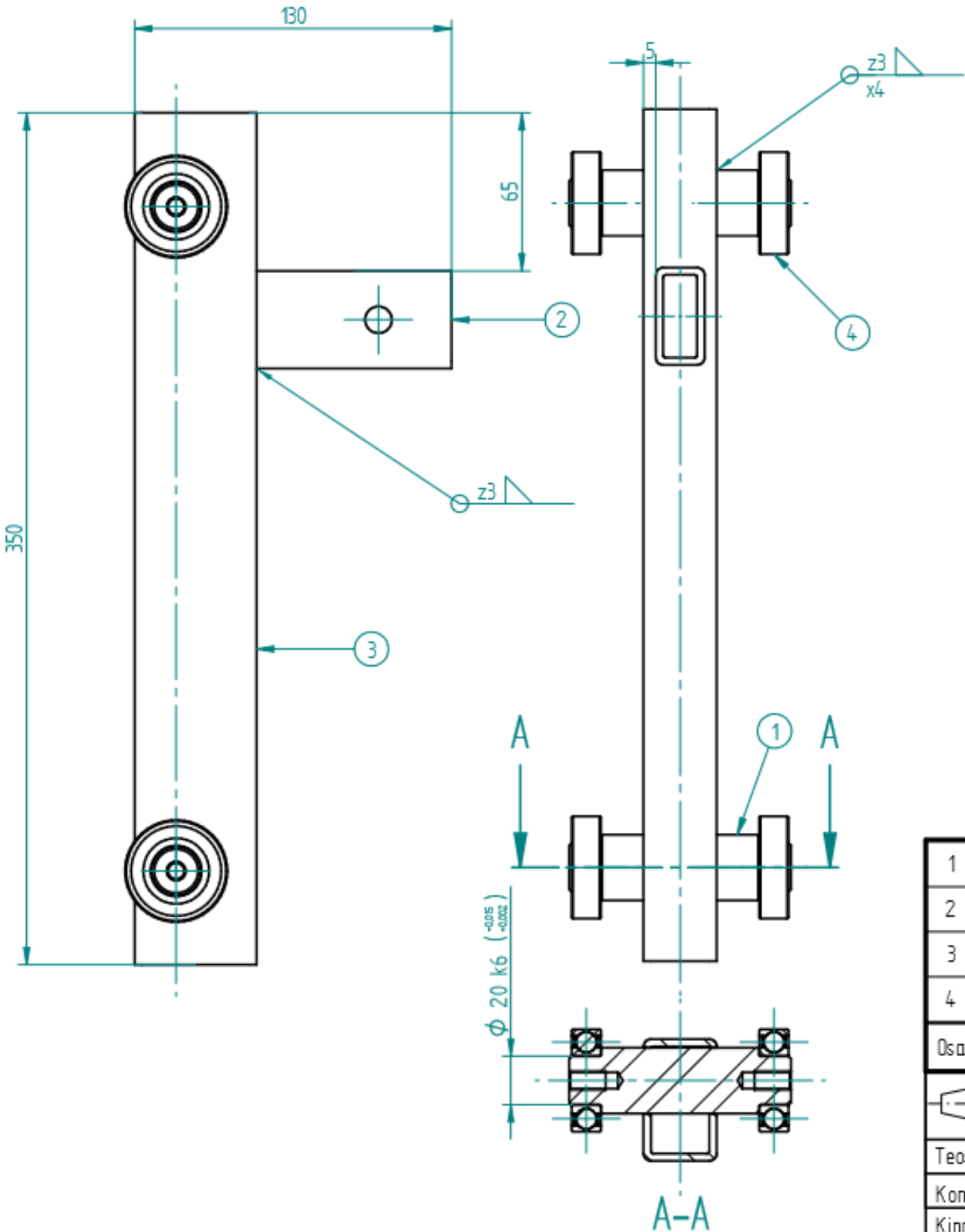
After I had chosen a suitable engine, I began searching for devices that enable automatic controlling. The most important of those were a current transducer and a logic controller. I chose a device that can be upgraded in the future as the controller. In addition, the existence of analogue and digital inputs, was important in choosing the device. I used a current transducer to convert the signal from one phase of the elevator's electric engine and to transfer it to the controllers input. In the beginning, I planned to use a regular transformer for the system, but that would have required too many individual components. In the case of the current transducer, it was important to choose a device with a measuring method that would not be sensitive to workloads that exceeded the rated current, because as was revealed by the measuring, an electric engine's starting current is approximately five times higher than the rated current. It was important for the devices to work with the same supply voltage to be able to equip them with the same power supply.



I managed to design a better solution than the ones offered on the market, especially when keeping the controlling method in mind. In automatizing the device, I retained the option to

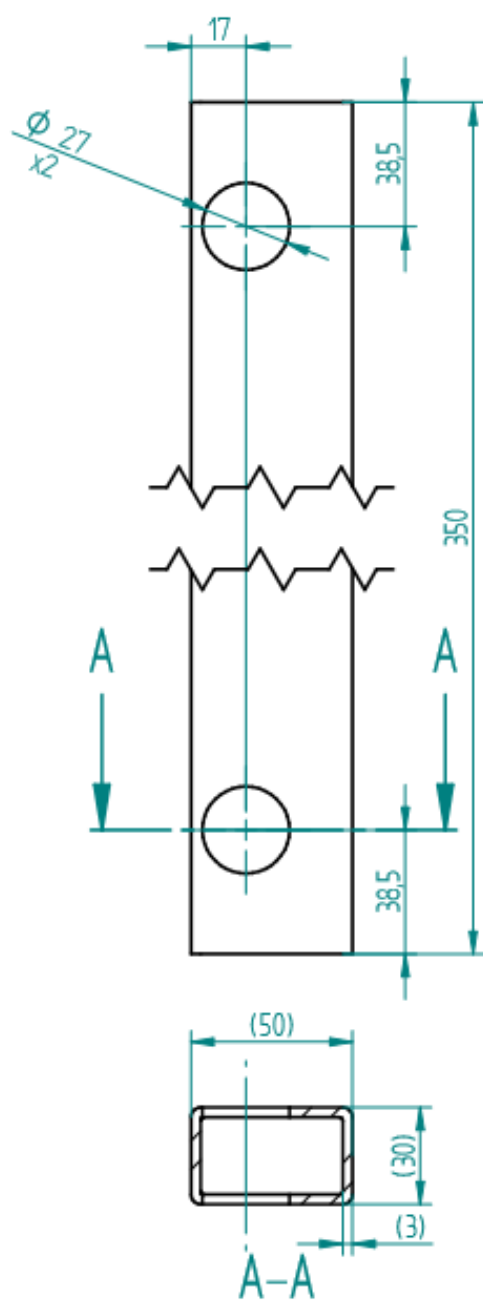
use the original mechanism to operate the shutter plate, which also differs from the devices on the market. I managed to fulfill the aim of the thesis and to equip the grain dryer with an automatic device that is financially more economic than the solutions offered by factories.

LISAD

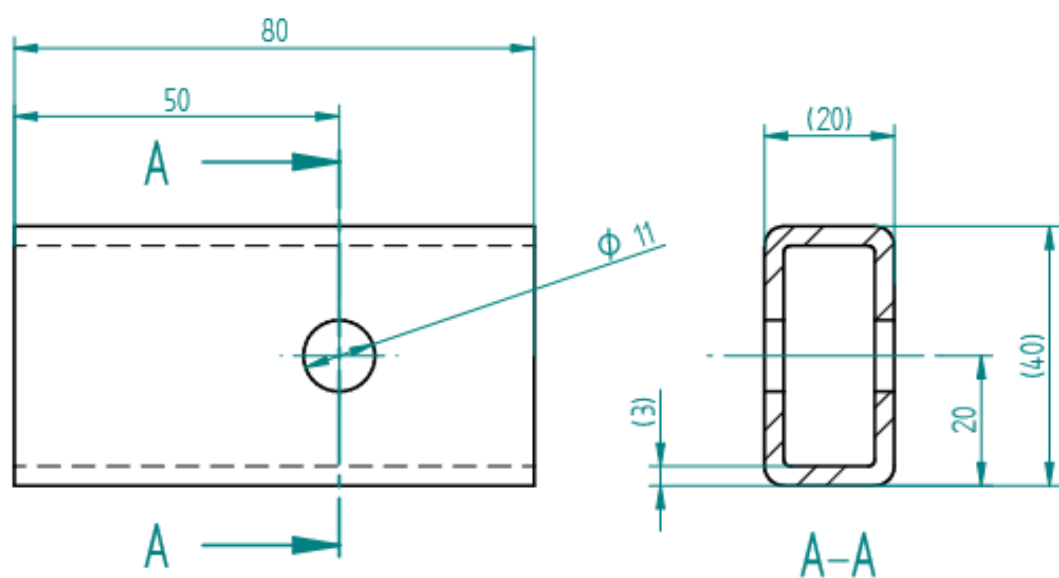
Lisa A. Tehnilised joonised



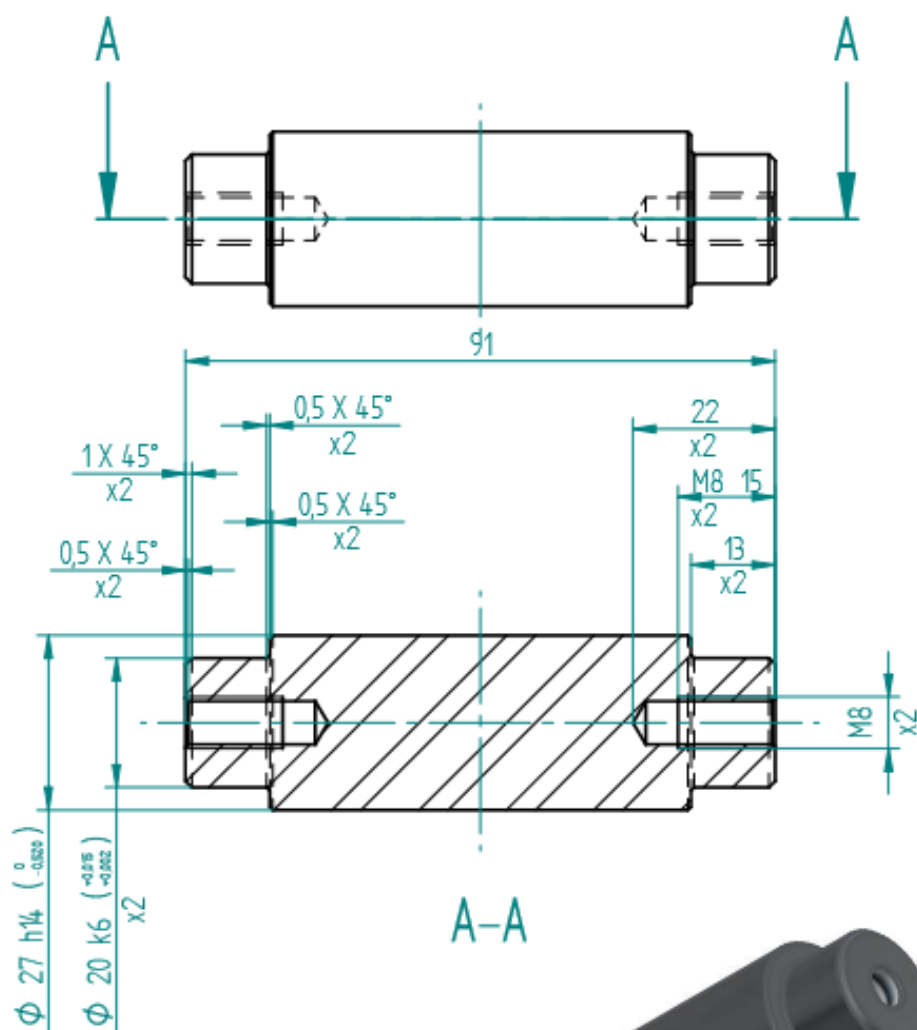
1		Lineaarjuhu telg	TA 17/130698 A 01 03 D	2	
2		Nelikanttoru (20x40x3)	TA 17/130698 A 01 02 D	1	
3		Nelikanttoru (50x30x3)	TA 17/130698 A 01 01 D	1	
4		Laager (20x42x12)	-	4	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhälbed ISO 2768 - m	Mass: 2,303 kg	Mööd: 12
Teostas	Hannes Kurgpöld		Komplekteeritud lineaarjuhuik		
Kontrollis					
Kinnitas					
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikainstituut Institute of Technology			Leht: 1/1	Tähis: TA 17/130698 A 01 00 K	



	Materjal: S355J2H	Naitamata piirhälbed: ISO 2768 - m	Mass: 1,145 kg	Mõõt: 12
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus: Nelikanntoru (50x30x3)		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis: TA 17/130698 A 01 01 D		

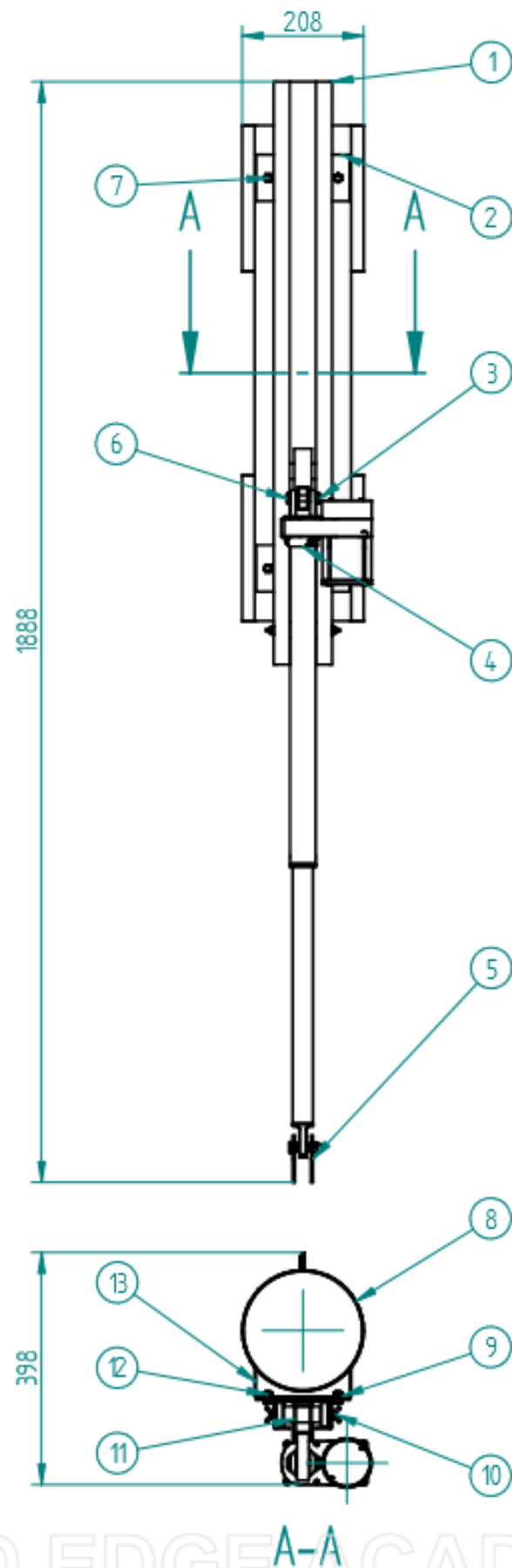




	Materjal S355J2H	Naitamata piirhalbed ISO 2768 - m	Mass 0,194 kg	Mõõt: 11
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus Nelikanntoru (20x40x3)		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis TA 17/130698 A 01 02 D		

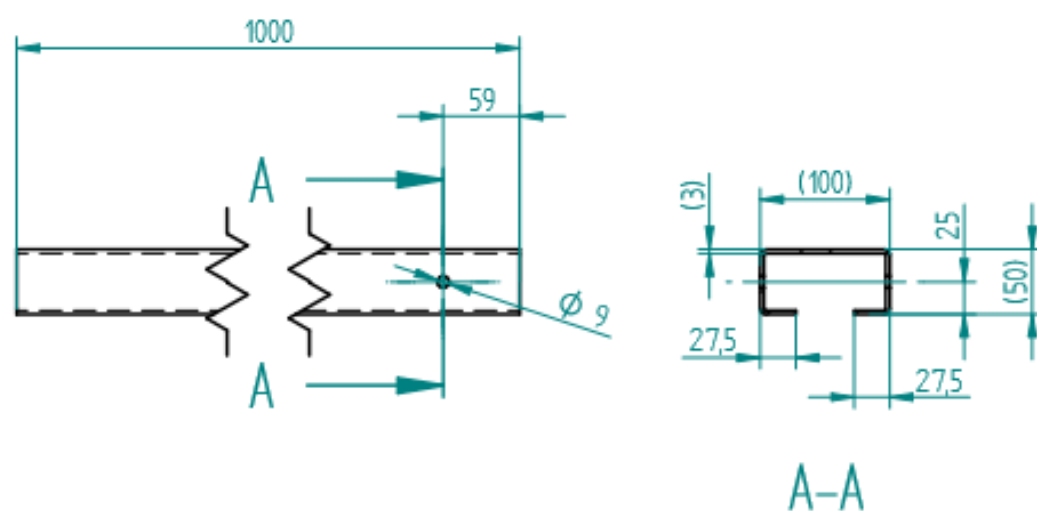


Markus võlli laagripindade piirhervete arvutamine esitatud punktis 4.3.1 ning istu skemaatiline kujutamine lisas B

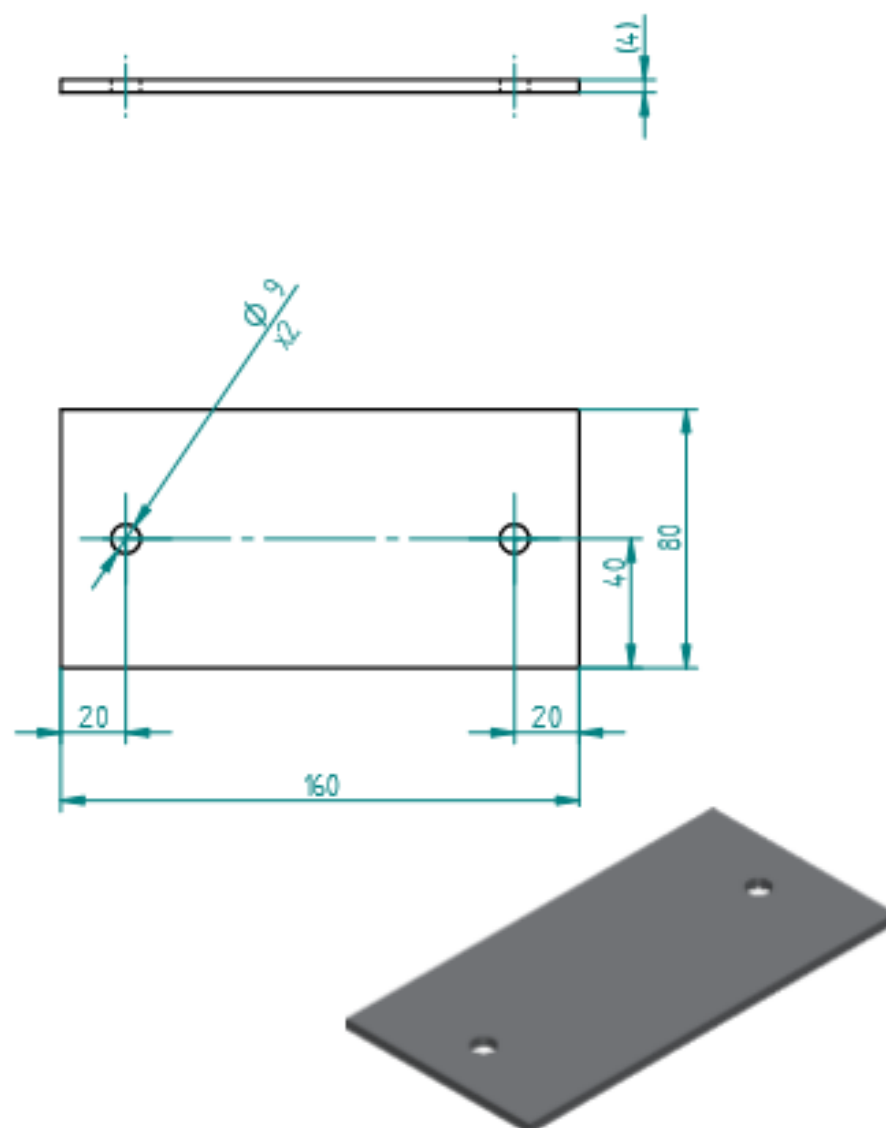
	Materjal: S355J2H	Naitamata piirherved: ISO 2768 - m	Mass: 0,344 kg	Mõõt: 11
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus: Lineaarjuhiku telg		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis: TA 17/130698 A 01 03 D		



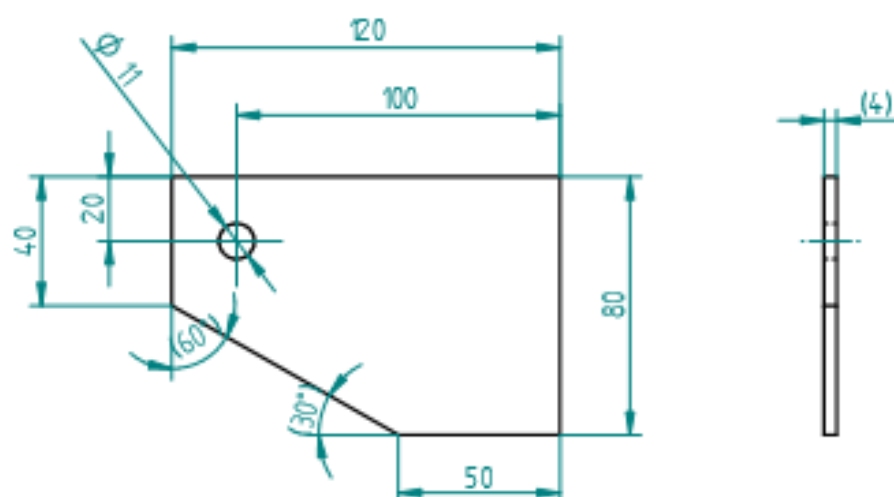
1		Nelikanttoru (100x50x3), S355J2H	TA 17/130698 A 02 01 D	1	
2		Kinnitusplaat (160x80x4), S355J2H	TA 17/130698 A 02 02 D	2	
3		Mutter (M10 – tsingitud)	-	2	
4		Lineaartäitur GRA 255	-	1	
5		Silindri sõrme kinnitusplaat, S355J2H	TA 17/130698 A 02 05 D	2	
6		Polt (8.8 M10 – tsingitud)	-	2	
7		Polt (8.8 M8 – tsingitud)	-	4	
8		Omatoru kinnitusvõru	-	2	
9		Seib IM8 – tsingitud)	-	6	
10		Liblikpolt 8.8 M8 – tsingitud)	-	2	
11		Komplekteeritud lineaarjuhk	TA 17/130698 A 01 00 K	1	
12		Mutter (M8 – tsingitud)	-	4	
13		Karpprofiil (165x50x2), Z-275 DX51D	TA 17/130698 A 02 13 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed ISO 2768 – m	Mass: 26,135kg	Mööd: 110
Teostas	Hannes Kurgpõld		Nimetus: Projekteeritud seadme koost		
Kontrollis					
Kinnitas					
			Leht: V1	Tähis: TA 17/130698 A 02 00 K	



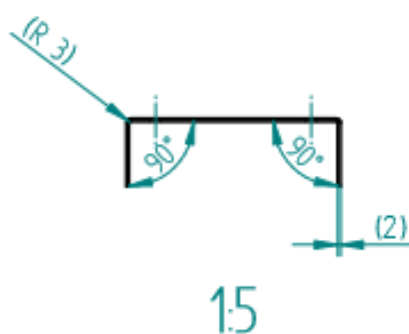
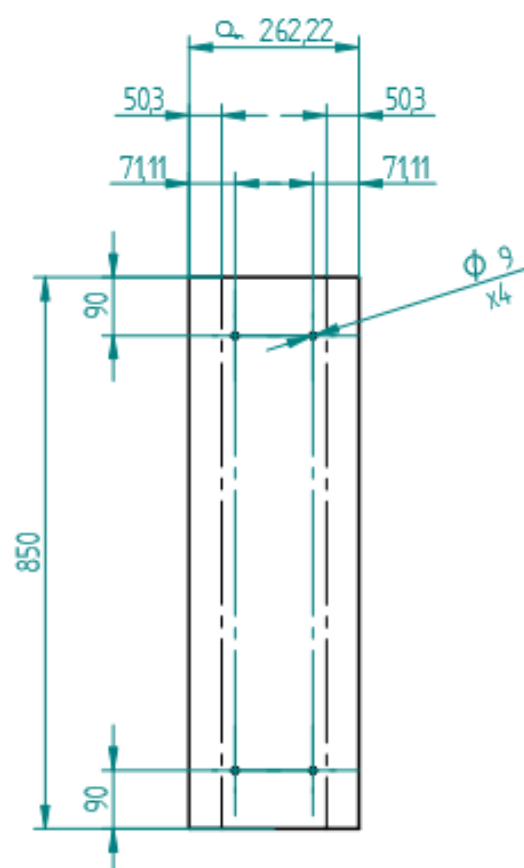
	Materjal: S355J2H	Naitamata piirhälbed: ISO 2768 - m	Mass: 5,606 kg	Mõõt: 15
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus: Nelikanntoru (100x50x3)		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis: TA 17/B0698 A 02 01 0		



	Materjal: S355J2H	Näitamata piirholbed: ISO 2768 - m	Mass: 0,396 kg	Moot: 12
Teostas	Hannes Kungpõld	Nimetus: Kinnitusplaat 160x80x4		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis: TA 17/B0698 A 02 02 0		

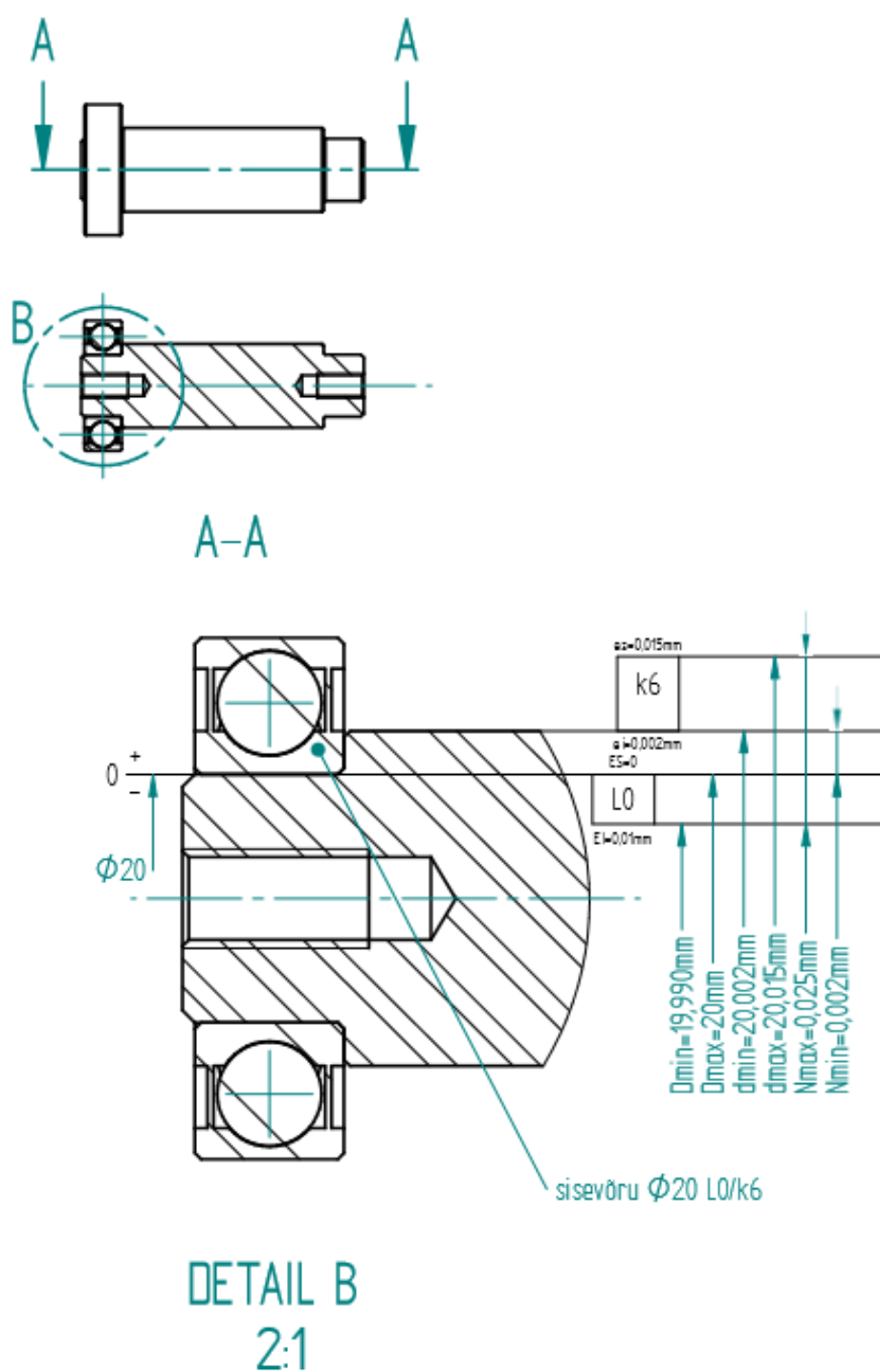


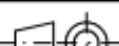

	Materjal: S355J2H	Näitamata piirholbed ISO 2768 - m	Mass: 0,253 kg	Moot: 12
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus: Silindri sõrme kinnitusplaat		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tähtis: TA 17/130698 A 02 05 0		



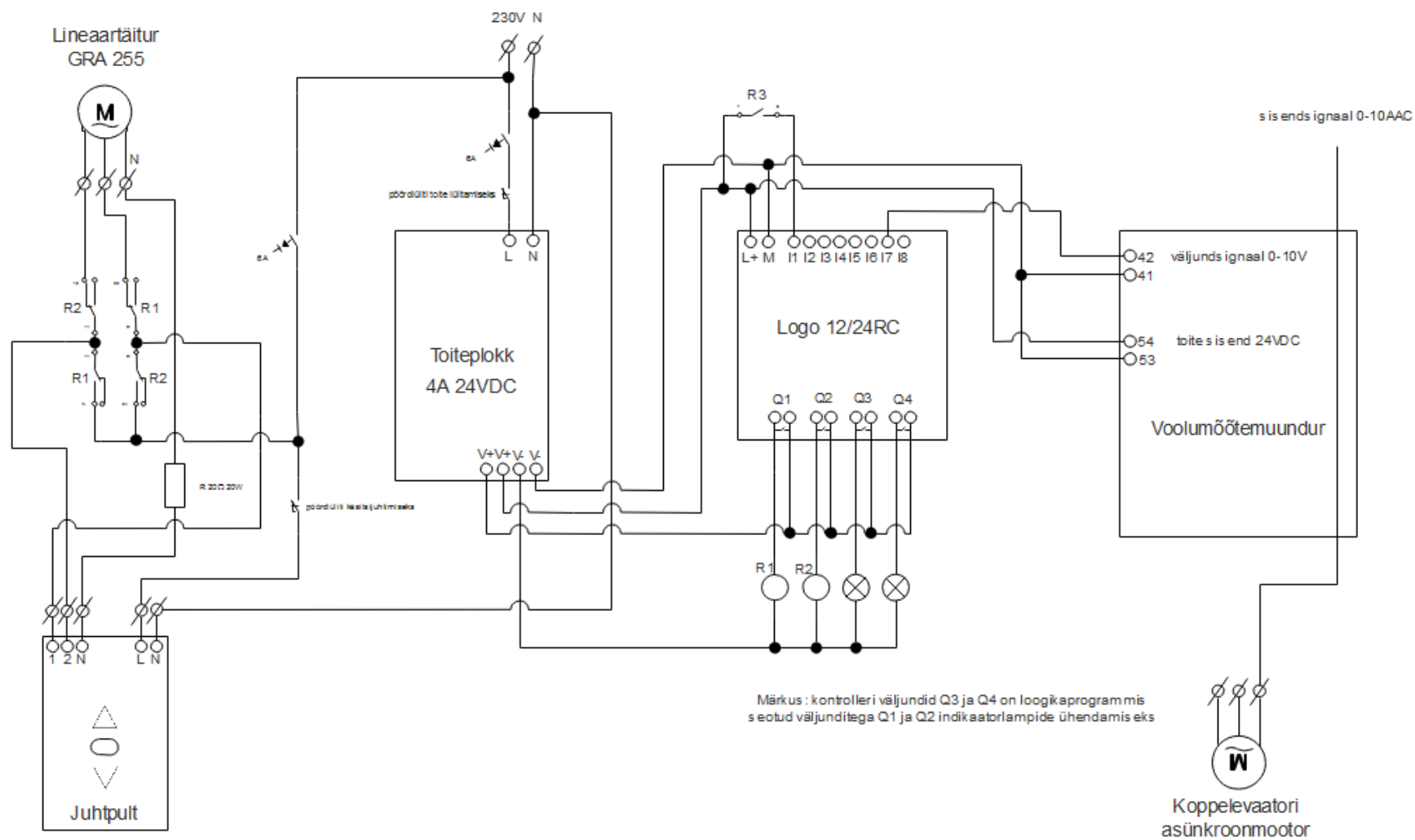
	Materjal: Z-275 0X510	Naitamata piirhalbed: ISO 2768 - m	Mass: 3,502 kg	Mõõt: 110
Teostas	Hannes Kurgpõld	Nimetus: Karpprofiil 1165x50x21		
Kontrollis				
Kinnitas				
	Leht: 1/1	Tahis: TA 17/B0698 A 02 B D		

Lisa B. Laagriistu skemaatiline kujutamine

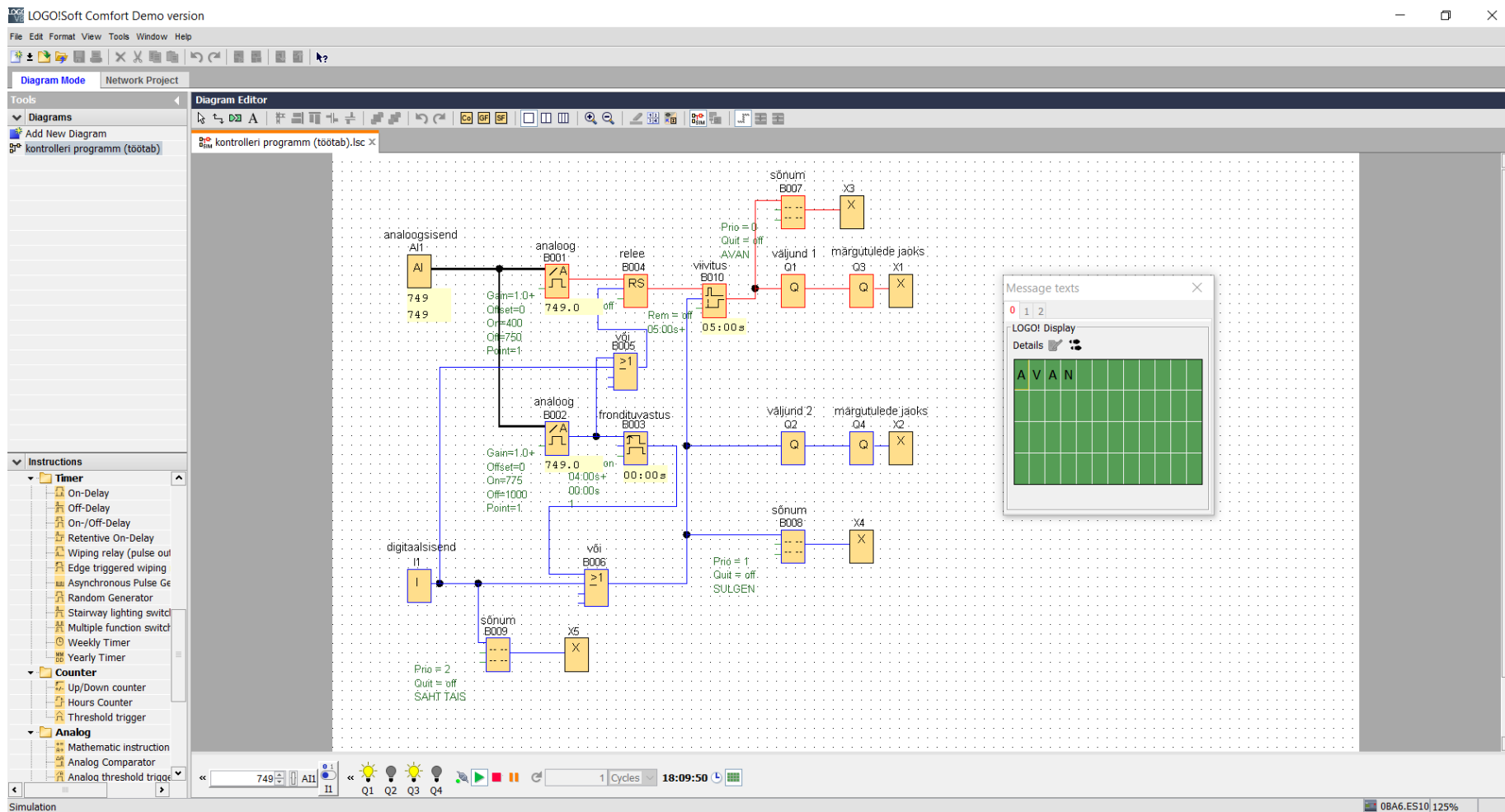


	Materjal: S355J2H	Nahtamata piirhalbed: ISO 2768 - m	Mass 0,343 kg	Mõõt: 12
Teostas	Hannes Kurapõld	Nimetus Laagriistu skemaatiline kujutamine		
Kontrollis				
Kinnitas				
 Eesti Maaülikool Estonian University of Life Sciences Tehnikakool		Leht: 1/1	Tahis: TA 17/130698 B 01 03 D	

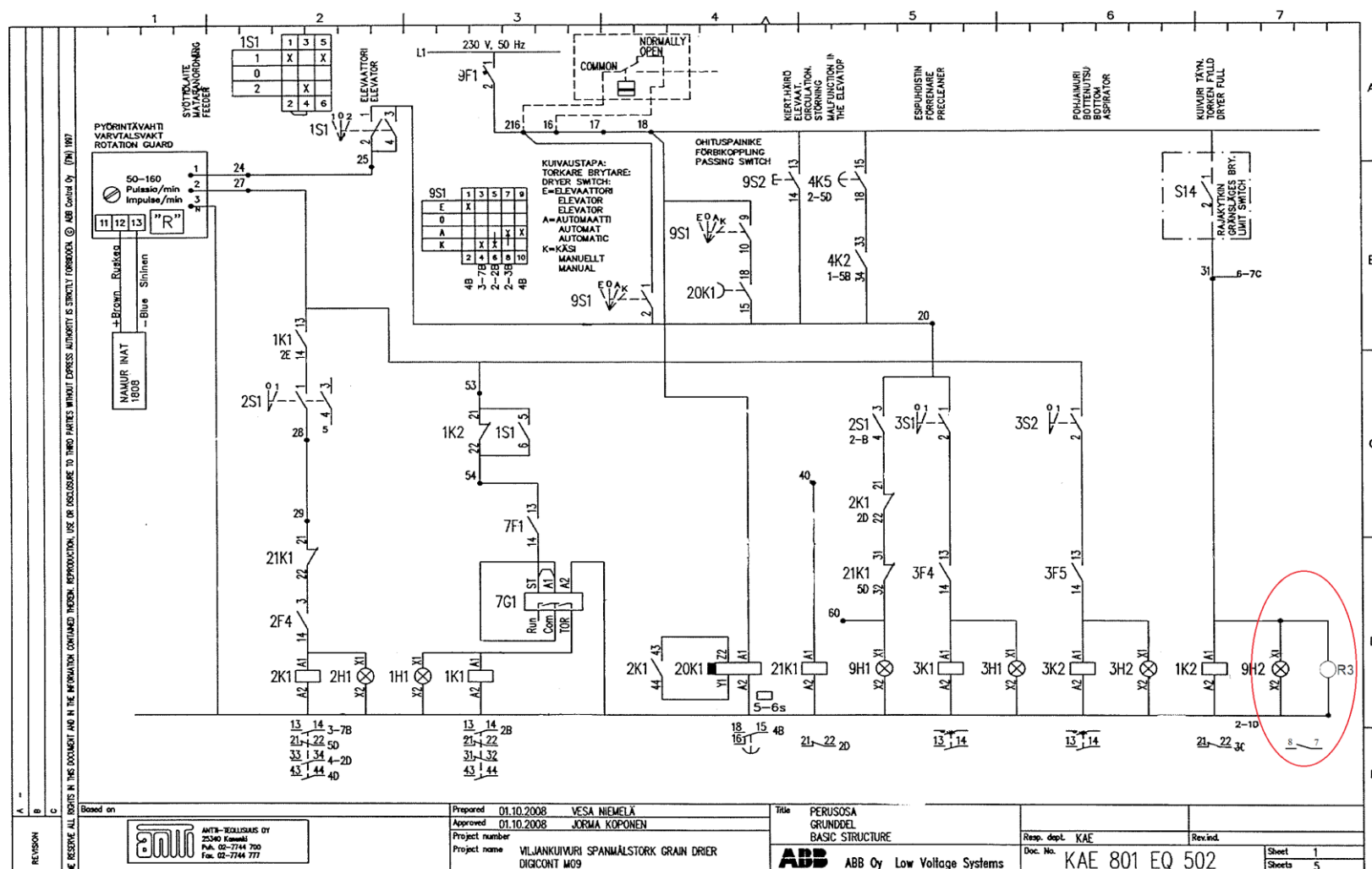
Lisa C. Seadmete ühendusskeem



Lisa D. Programm loogikakontrollerile Logo 12/24 RC Soft Comfort keskkonnas




Lisa E. Lisarelee kuivati elektriskeemis šahti taitumisel tekkiva signaali juhtimiseks loogikakontrolleri sisendisse

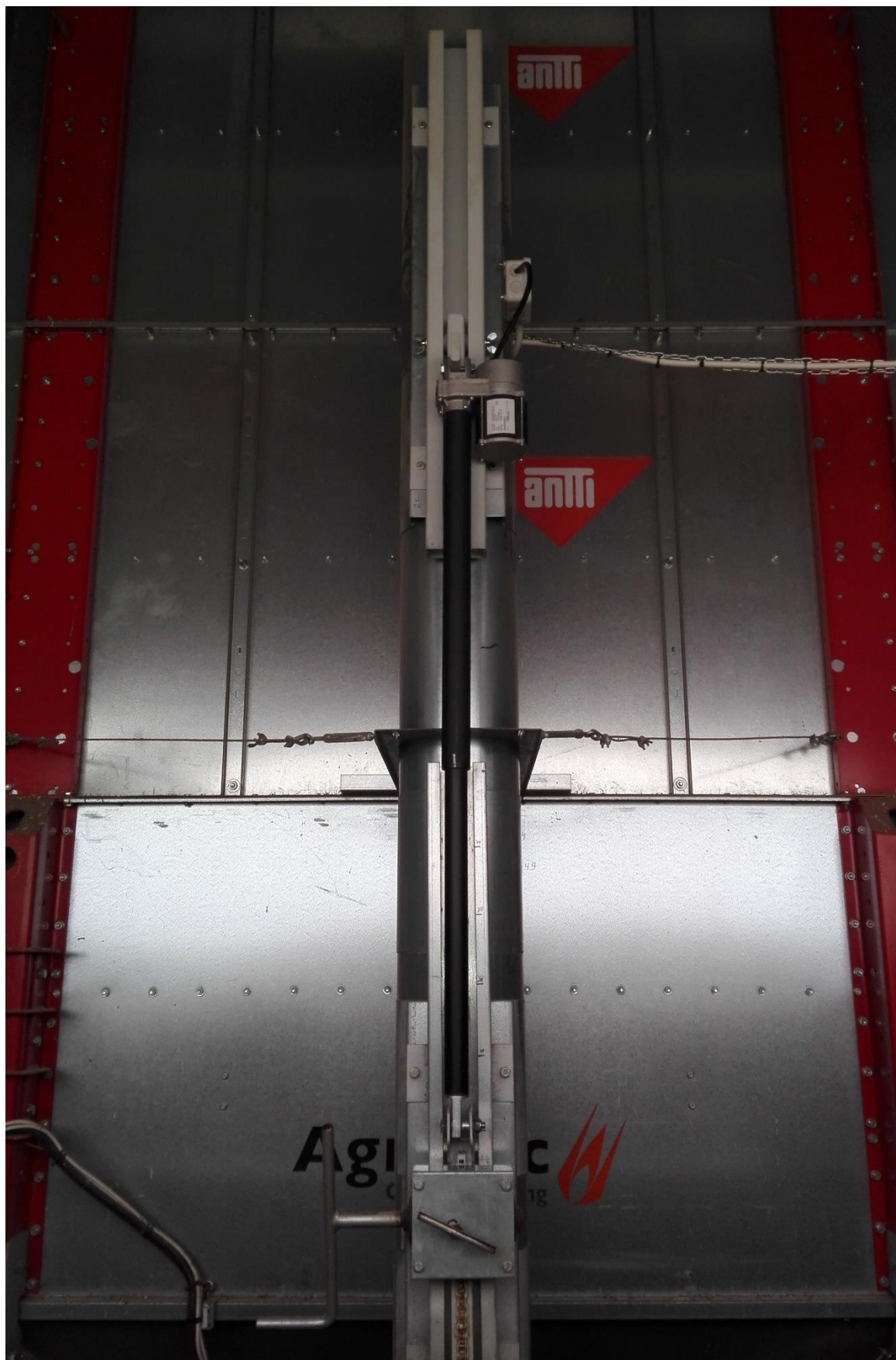


REVISION	Based on	Prepared 01.10.2008 VESA NIEMELÄ	Title PERUSOSA GRUNDEL BASIC STRUCTURE	Resp. dept. KAE	Rev.ind.
A	B	Approved 01.10.2008 JORMA KOPONEN	Project name VIILANKUVURI SPANMÄLSTORCK GRAIN DRIER DIGICONT M09	Doc. No. KAE 801 EQ 502	Sheet 1
C	D	Project number	ABB Oy Low Voltage Systems		Sheets 5
E	F	Project name			

Lisa F. Baltic Agro Machinery OÜ hinnapakumine

CUSTOMER Hannes Kurgpõld					
contact person					
telephone					
Delivery		Delivery week			
Address					
ZIP					
City					
Country					
DRYER					
type					
Code	Name1	pcs	Gross á	Gross total	Net total
add number		add quantity	Euros EXW, without tax		1,00
22447	FRAME PLATE	1	18,60	18,60	18,60
32609	FIXING PART	1	4,30	4,30	4,30
32822	DRAW SUPPORT (E)	2	12,10	24,20	24,20
42121	DRAW SUPPORT (A)	2	11,90	23,80	23,80
42122	SUPPORT AGAINST BUCKLING	2	4,80	9,60	9,60
503602	GUIDING BAND	2	3,50	7,00	7,00
41966	GUIDE (E)	3	1,18	3,54	3,54
31642	INTERMEDIATE ROD BRACKET	1	1,70	1,70	1,70
503513	SHUTTER PLATE ROD	2	4,20	8,40	8,40
111560	SHUTTER PLATE ROD M12	2	0,90	1,80	1,80
120539	TOOL SPRING	2	0,45	0,90	0,90
110810	NUT NYLOC M12 ZN DIN985	3	0,21	0,63	0,63
101849	HEXAGON SCREW M8x30	8	0,10	0,80	0,80
111501	NUT M8	8	0,05	0,40	0,40
101805	HEXAGON SCREW M8x16	4	0,10	0,40	0,40
101864	HEXAGON SCREW M12x50	2	0,16	0,32	0,32
110570	NUT M12 ZN8 DIN934	1	0,21	0,21	0,21
400012	ELEV PIPE BAND A L250	1	28,20	28,20	28,20
102240	HEXAGON SCREW M10x100	2	0,16	0,32	0,32
110560	NUT M10 ZN 8 DIN934	6	0,21	1,26	1,26
300368	MOTOR KARA MAGNETIC MAX64-C700A01M	1	1980,00	1 980,00	1 980,00
119020	CONDUCTOR STRAP 3,6 x203	4	0,45	1,80	1,80
111511	WASHER M8	4	0,05	0,20	0,20
300304	LIMIT SWITCH TELMEK XCK-P145+FI (FIBOX)	3	42,40	127,20	127,20
300295	LIMIT SWITCH CAPACITIVE KI-2015-ABOA KI-0016	3	138,00	414,00	414,00
TOTAL				2 659,58	2 659,58

Lisa G. Projekteeritud seade koppelevaatorile monteerituna



Lisa H. Projekteeritud seadme komponentide ja materjalide maksumus

Seadme nimetus	Mudel/Mark	Kogus	Ühik	Ühiku hind, EUR	Summa, EUR
1. Lineaartäitur	GRA 255	1	tk	231,05	231,05
2. Loogikakontroller Siemens	Logo 12/24 RC	1	tk	88,80	88,80
3. Voolumõõtemuundur Weidmüller	ACT20P-CMT-10-AO-RC-S	1	tk	94,40	94,40
4. Toiteplokk Mean Well	MDR	1	tk	31,00	31,00
5. Nelikanttoru (50x30x3)	S355J2H	0,5	jm	4,66	2,33
6. Nelikanttoru (100x50x3)	S355J2H	1,2	jm	6,27	7,52
7. Kuullaager Timken	6004-2RSH	4	tk	2,59	10,36
8. Pöördlüli	WK 2-Pos; fikseeritav	3	tk	7,40	22,20
9. Kinnitusadapteri raam	-	5	tk	1,35	6,75
10. Kinnitusadapteri uk-sekinnitus	-	5	tk	2,20	11,00
11. LED tuli	12-30 V ac/dc	2	tk	4,50	9,00
12. Relee RELPOL	RM84 8-pin 24V ac	2	tk	3,40	6,80
13. Relee RELPOL	RM84 8-pin 230V ac	1	tk	3,55	3,55
14. Relee sadul RELPOL	GZS80 (RM84-le)	3	tk	2,30	6,90
15. Märklamp	punane	1	tk	3,00	3,00
16. Märklamp	roheline	1	tk	3,00	3,00
17. Traattakisti	20R20W	1	tk	1,00	1,00
18. Juhtpult	-	1	tk	13,35	13,35
				KOKKU	555,01

Märkus:

1. Tabelis ei ole arvestatud projekteeritud seadmele tehtud väiksemaid kulutusi kinnitusmaterjalide (poldid, mutrid) ning elektriühenduste (kaablid, ühendusotsad jne) näol.
2. Tabelis on esitatud KM-ta summad.

Lisa I. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, _____,

(*autori nimi*)

sünniaeg _____,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

_____,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja(d) on _____,

(*juhendaja(te) nimi*)

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

(*allkiri*)

Tartu, _____

(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)

(*juhendaja nimi ja allkiri*)

(*kuupäev*)